

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG SMA AL HIKMAH SURABAYA
DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH**

**GAYATRI INERSIA SISWONO
NRP. 3112 030 019**

**ADAM NURUL KAMAL
NRP. 3112 030 021**

**Dosen Pembimbing
Ir. ESTUTIE MAULANIE, CES
NIP. 19530531 198502 2 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG SMA AL HIKMAH SURABAYA
DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH**

**GAYATRI INERSIA SISWONO
NRP. 3112 030 019**

**ADAM NURUL KAMAL
NRP. 3112 030 021**

**Dosen Pembimbing
Ir. ESTUTIE MAULANIE, CES
NIP. 19530531 198502 2 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

FINAL PROJECT - RC 145501

**THE PLANNING OF SMA AL HIKMAH SURABAYA
WITH INTERMEDIATE MOMENT FRAME SYSTEM BEARERS METHOD**

**GAYATRI INERSIA SISWONO
NRP. 3112 030 019**

**ADAM NURUL KAMAL
NRP. 3112 030 021**

**Consellor Lecture
Ir. ESTUTIE MAULANIE, CES
NIP. 19530531 198502 2 001**

**DIPLOMA 3 CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**



FINAL PROJECT - RC 145501

**THE PLANNING OF SMA AL HIKMAH SURABAYA
WITH INTERMEDIATE MOMENT FRAME SYSTEM BEARERS METHOD**

**GAYATRI INERSIA SISWONO
NRP. 3112 030 019**

**ADAM NURUL KAMAL
NRP. 3112 030 021**

**Consellor Lecture
Ir. ESTUTIE MAULANIE, CES
NIP. 19530531 198502 2 001**

**DIPLOMA 3 CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Civil Engineering and Planning
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015**

**PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG SMA AL
HIKMAH SURABAYA DENGAN METODE SISTEM
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH**

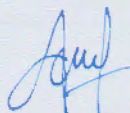
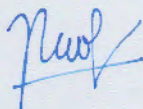
TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya Teknik
pada
Program Studi Diploma III Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Disusun Oleh :

Mahasiswa 1

Mahasiswa 2



GAYATRI INERSIA S.

Nrp. 3112 030 019

ADAM NURUL K.

Nrp. 3112 030 021



Disetujui oleh :

DOSEN PEMBIMBING

14 JUL 2015

Ir. ESTUTIE MAULANIE, CES

NIP. 19530531 198502 2 001

PERENCANAAN STRUKTUR GEDUNG SMA AL HIKMAH SURABAYA DENGAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH

Nama Mahasiswa I : Gayatri Inersia Siswono

NRP : 3112030019

Nama Mahasiswa II : Adam Nurul Kamal

NRP : 3112030021

Abstrak

Gedung SMA Al Hikmah Surabaya merupakan bangunan bertingkat yang terdiri dari 3 lantai dan 1 basement dengan panjang bangunan 47m, lebar 19m dan tinggi 10,75m. Gedung ini direncanakan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM). Peraturan yang digunakan adalah standar desain yang berlaku di Indonesia yaitu PBI 1971, SNI 2847-2013, SNI 1729-2002, SNI 1726-2012, Aplikasi SNI Gempa 1726-2012, PPIUG 1983. Pada atap menggunakan struktur rangka baja (rangka kaku) dengan model atap perisai dan sebagian menggunakan pelat beton bertulang. Struktur primer gedung (balok, sloof dan kolom) dan struktur sekunder (pelat dan tangga) menggunakan struktur beton bertulang. Struktur bawah menggunakan basement dan pondasi tiang pancang. Hasil perencanaan struktur yang diperoleh berupa dimensi tangga, dimensi struktur pelat, balok, kolom dan penulangannya. Pelat tangga, pelat atap tebal 120 mm menggunakan tulangan utama $\phi 10$ dan pelat lantai tebal 120 mm menggunakan tulangan utama $\phi 12$. Dimensi balok induk B1 450/650, B2 350/500, B3 200/300 dan B4 200/350 dengan penulangan torsi D16, penulangan lentur D28 dan

penulangan geser $\phi 12$. Dimensi balok anak B5 200/250 dan balok bordes 250/200 dengan penulangan torsi $\phi 10$, penulangan lentur D22 dan penulangan geser $\phi 10$. Dimensi kolom K1 500/500, K2 400/400 dan K3 300/300 dengan penulangan lentur D28 dan penulangan geser $\phi 10$. Untuk pondasi, pile cap menggunakan tulangan pokok D19.

Kata kunci: SRPMM, beton bertulang

STRUCTURE PLANNING OF AL HIKMAH SURABAYA SENIOR HIGH SCHOOL BY USING INTERMEDIATE MOMENT RESISTANT FRAME SYSTEM

Name Of Student I : Gayatri Inersia Siswono

NRP : 3112030019

Name Of Student II : Adam Nurul Kamal

NRP : 3112030021

Abstract

Al Hikmah Surabaya high school building is a multi-storey building consisting of three floors and one basement with building length 47m, width of 19m and height of 10,75m. It is planned using Intermediate Moment Frame System bearers (SRPMM). Regulations used is applicable design standards in Indonesia, PBI 1971, SNI 2847-2013, SNI 1729-2002, SNI 1726-2012, SNI Applications Earthquake 1726-2012, PPIUG 1983. On the roof using a steel frame structure (rigid frame) with roofing models and partly shield using reinforced concrete slab. The primary structure of the building (beams, sloof and columns) and secondary structures (plates and stairs) using reinforced concrete structures. Bottom structure using the basement and foundation piles. Results obtained in the form of structural design dimensions stairs, dimension plate structures, beams, columns and penulangannya. Plates stairs, roof plate 120 mm thick using the main reinforcement Ø10 and 120 mm thick slab using Ø12 main reinforcement. Dimensional beam B1 450/650, B2 350/500, B3 200/300 and B4 200/350 with torque reinforcement D16, D28 bending reinforcement and shear reinforcement Ø12. Dimensional

joists 250/200 and beams B5 200/250 landing with reinforcement torque Ø10, flexible reinforcement D22 and shear reinforcement Ø10. Column dimensions K1 500/500, K2 400/400 and K3 300/300 with D28 bending reinforcement and shear reinforcement Ø10. For the foundation, pile cap using a staple reinforcement D19.

Keywords: SRPMM, reinforced concrete

KATA PENGANTAR

Pertama-tama ucapan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga terselesaikannya penyusunan **Laporan Tugas Akhir Terapan** dengan judul **“Perencanaan Struktur Gedung SMA Al Hikmah Surabaya Dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah”**.

Tugas Akhir Terapan ini merupakan salah satu syarat bagi kami dalam menempuh jenjang Pendidikan Diploma III Teknik Sipil ITS Surabaya. Tersusunnya tugas akhir terapan ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi dari berbagai pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan serta arahan kepada kami. Untuk itu kami ucapkan terimakasih terutama kepada :

1. Kedua orang tua, saudara-saudara kami tercinta, sebagai penyemangat terbesar bagi kami, dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materiil terutama doanya.
2. Bapak Ir. M. Sigit Darmawan, M.Sc, Ph.D. selaku Kepala Program Studi Diploma Teknik Sipil.
3. Ibu Ir. Estutie Maulanie, CES selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir terapan ini.
4. Ibu Ir. Kusumastuti, MT. selaku dosen wali kami.
5. Teman-teman terdekat yang tidak bisa disebutkan satu persatu, terimakasih atas bantuan dan saran-saran yang telah diberikan selama proses pengerjaan proyek akhir ini.

Disusunnya **Laporan Tugas Akhir Terapan** ini sangatlah diharapkan, semoga apa yang telah dibuat ini dapat bermanfaat bagi para pembaca khususnya dan bagi majunya pendidikan umumnya.

Menyadari bahwa dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir Terapan ini tidaklah sempurna. Sehingga ucapan mohon

maaf apabila dalam penyusunan **Laporan Tugas Akhir Terapan** ini masih ada kekurangan. Oleh karena itu dengan rendah hati diharapkan saran dan kritik yang berguna dari pembaca.

Demikian yang dapat disampaikan, terimakasih.

Surabaya, 23 Juni 2015

Penyusun

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Data Bangunan	5
2.1.1 Data Umum Bangunan	5
2.1.2 Data Bahan	5
2.1.3 Data Tanah	5
2.2 Peraturan yang Dipakai	5
2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen	6
2.3.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa	7
2.3.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah	7
2.3.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus	8
2.4 Struktur Beton	8
2.5 Struktur Baja	12
BAB III METODOLOGI PERENCANAAN	15
3.1 Langkah Perencanaan	15
3.1.1 Pengumpulan Data	15
3.1.2 Preliminary Design	15
3.1.3 Pembebanan	24

3.1.4 Analisa Struktur	25
3.1.5 Analisa Gaya Dalam	27
3.1.6 Perhitungan Tulangan Struktur	27
3.1.7 Gambar Rencana	27
3.2 Flow Chart Perencanaan	29
3.2.1 Flow Chart Perhitungan Pelat	30
3.2.2 Flow Chart Perhitungan Tulangan Lentur Balok	32
3.2.3 Flow Chart Perhitungan Tulangan Geser Balok	34
3.2.4 Flow Chart Perhitungan Kolom	35
3.2.5 Flow Chart Perhitungan Tangga	36
3.2.6 Flow Chart Perhitungan Rangka Atap	37
3.2.7 Flow Chart Perhitungan Sloof	41
3.2.8 Flow Chart Perhitungan Geser Sloof	43
3.2.9 Flow Chart Perhitungan Basement	44
3.2.10 Flow Chart Perhitungan Pondasi	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Perencanaan Awal Struktur	47
4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok	47
4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom	50
4.1.3 Perencanaan Dimensi Sloof	51
4.2 Perencanaan Struktur Sekunder	52
4.2.1 Perhitungan Pelat	52
4.2.2 Perhitungan Tangga	79
4.2.3 Perhitungan Struktur Rangka Atap	94
4.3 Perencanaan Struktur Primer	158
4.3.1 Perhitungan Beban	158
4.3.2 Perhitungan Tulangan Balok	165
4.3.3 Perhitungan Tulangan Kolom	205
4.4 Perencanaan Struktur Bawah	229
4.4.1 Perhitungan Basement	229
4.4.2 Perhitungan Tulangan Sloof	240
4.4.3 Perhitungan Pile Cap dan Tiang Pancang	277
BAB V PENUTUP	307

5.1 KESIMPULAN	307
5.1.1 Struktur Sekunder	307
5.1.2 Struktur Primer	307
5.1.3 Struktur Bawah	309
BAB VI REVISI	311
6.1 Pertanyaan dari Bapak Ir. Sukobar, MT	311
DAFTAR PUSTAKA	367
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

<i>Tabel 2.1 Sifat Mekanis Baja Struktural.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabel 3.1 Tebal Minimum Balok Non Prategang atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung.....</i>	<i>18</i>
<i>Tabel 4.1 Dimensi Balok Rencana.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabel 4.2 Dimensi Kolom Rencana.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabel 4.3 Dimensi Sloof Rencana.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabel 4.4 Kombinasi Pembebanan Gording.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabel 4.5 Batas Lendutan Maksimal.....</i>	<i>100</i>
<i>Tabel 4.6 Gaya Bentang Ikatan Angin.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabel 4.7 Perhitungan Nilai Fa secara Interpolasi Linier.....</i>	<i>161</i>
<i>Tabel 4.8 Input Gempa Ke-SAP.....</i>	<i>162</i>
<i>Tabel 4.9 Penulangan Balok.....</i>	<i>200</i>
<i>Tabel 4.10 Penulangan Sloof.....</i>	<i>268</i>

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

<i>Gambar 3.1 Dimensi Tangga.....</i>	<i>19</i>
<i>Gambar 3.2 Tampak Barat Laut</i>	<i>25</i>
<i>Gambar 3.3 Tampak Tenggara</i>	<i>26</i>
<i>Gambar 3.4 Tampak Samping</i>	<i>26</i>
<i>Gambar 3.5 Tampak Atas Bangunan</i>	<i>26</i>
<i>Gambar 4.1 Tulangan Pelat P3</i>	<i>65</i>
<i>Gambar 4.2 Tulangan Pelat P1</i>	<i>77</i>
<i>Gambar 4.3 Gaya Lintang Balok pada SRPMM.....</i>	<i>168</i>
<i>Gambar 4.4 Penulangan Lentur Balok B1</i>	<i>192</i>
<i>Gambar 4.5 Perencanaan Geser untuk Balok SRPMM</i>	<i>193</i>
<i>Gambar 4.6 Gaya Lintang Balok pada SRPMM.....</i>	<i>241</i>
<i>Gambar 4.7 Penulangan Lentur Sloof S1</i>	<i>258</i>

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR NOTASI

b_w	= lebar badan (web), mm.
D	= pengaruh dari beban mati.
F_a	= koefisien situs untuk perioda pendek (pada perioda 0,2 detik).
F_v	= koefisien situs untuk perioda panjang (pada perioda 1 detik).
f'_c	= kekuatan tekan beton yang disyaratkan, Mpa.
f_y	= kekuatan leleh tulangan yang disyaratkan, Mpa.
h	= tebal atau tinggi keseluruhan komponen struktur, mm.
h_w	= tinggi bersih segmen yang ditinjau, mm.
I	= momen inersia penampang terhadap sumbu pusat, mm ⁴ .
I_b	= momen inersia penampang bruto balok terhadap sumbu pusat, mm ⁴ .
l_n	= panjang bentang bersih yang diukur muka ke muka tumpuan, mm.
l	= panjang bentang balok atau slab satu arah, mm.
L	= beban hidup yang ditimbulkan oleh penggunaan gedung, termasuk kejut, tetapi tidak termasuk beban lingkungan seperti angin, hujan, dan lain-lain.
L_r	= beban hidup di atap yang ditimbulkan selama perawatan oleh pekerja, peralatan, dan material, atau selama penggunaan biasa oleh orang dan benda bergerak.
R	= beban hujan, tidak termasuk yang diakibatkan genangan air.

- S_s = parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda pendek, redaman 5 persen.
- S_1 = parameter percepatan respons spektral MCE dari peta gempa pada perioda 1 detik, redaman 5 persen.
- S_{DS} = parameter percepatan respons spektral pada perioda pendek, redaman 5 persen.
- S_{D1} = parameter percepatan respons spektral pada perioda 1 detik, redaman 5 persen.
- S_{MS} = parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda pendek yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
- S_{M1} = parameter percepatan respons spektral MCE pada perioda 1 detik yang sudah disesuaikan terhadap pengaruh kelas situs.
- S_n = kekuatan lentur, geser atau aksial nominal sambungan.
- T = perioda fundamental bangunan (seperti yang ditentukan dalam SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2)
- $T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
- $T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$
- W = beban angin.
- α_1 = rasio kekakuan lentur penampang balok terhadap kekakuan lentur lebar plat yang dibatasi secara lateral oleh garis pusat panel yang disebelahnya(jika ada) pada setiap sisi balok.
- ϕ_b = faktor reduksi (0,9).

- d_b = diameter nominal batang tulangan, kawat, atau strand prategang, mm.
- l_d = panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir, kawat ulir, tulangan kawat las polos dan ulir, atau strand pratarik, mm.
- l_{dc} = panjang penyaluran tekan batang tulangan ulir dan kawat ulir, mm.
- l_{dh} = panjang penyaluran tarik batang tulangan ulir atau kawat ulir dengan kait standar, yang diukur dari penampang kritis ujung luar kait (panjang penanaman lurus antara penampang kritis dan awal kait[titik tangen] ditambah jari-jari dalam bengkokan dan satu diameter batang tulangan), mm.
- V_{u1} : gaya geser pada muka perletakan.
- M_{nl} : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri).
- M_{nr} : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)
- l_n : panjang balok bersih

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada tugas akhir ini objek perencanaan struktur yang akan digunakan berupa gedung sekolah, yaitu SMA Al Hikmah Surabaya. Gedung ini tersusun dari 3 lantai dan sebuah basement. Lokasi dari gedung ini terletak di daerah Kebonsari Surabaya. Pondasi direncanakan berupa tiang pancang dengan kedalaman 25m, berdasarkan hasil Standart Penetrasi Test (SPT) diketahui berjenis tanah sedang (lihat N-value pada kedalaman 25m pada lampiran data tanah). Bangunan gedung SMA Al Hikmah Surabaya dalam tugas akhir ini direncanakan kolom, balok, sloof, pelat lantai, tangga menggunakan konstruksi beton bertulang, sedangkan pada struktur atapnya sebagian menggunakan atap rangka baja dan sebagian lagi menggunakan pelat atap beton bertulang. Menurut SNI 1726:2012 tentang kategori resiko gedung untuk beban gempa, bangunan sekolah termasuk dalam kategori resiko gempa IV. Untuk menentukan kategori sistem rangka pemikul momen yang akan digunakan pada tugas akhir ini sebelumnya dimisalkan beban gempa rencana dengan periode ulang gempa 500 tahun. Selanjutnya dihitung nilai Kategori desain seismik berdasarkan parameter respons percepatan pada periode pendek (S_{DS}) sesuai kedalaman ujung pondasi tiang pancang yang direncanakan, didapatkan nilai $S_{DS}=0,3$ sehingga perencanaan gedung sekolah ini akan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (*Sumber: SNI 1726:2012 Tabel 6*).

Dalam perencanaan struktur gedung sekolah ini teori-teori yang digunakan sesuai dengan Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971), Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013), Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung (SNI 1729-2002), Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI

1726-2012), Aplikasi SNI Gempa 1726-2012, Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung (PPIUG 1983).

Perencanaan gedung dengan SRPMM diharapkan aman ketika menahan beban gempa di daerah kategori desain seismik C.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang ditinjau dalam perencanaan Gedung SMA Al Hikmah Surabaya antara lain:

1. Bagaimana perencanaan dan perhitungan penulangan kolom, balok, dan pelat gedung dengan menggunakan metode SRPMM.
2. Bagaimana aplikasi perhitungan pada gambar teknik.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini antara lain:

1. Dapat merencanakan gedung 3 lantai dan sebuah basement dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah sesuai dengan ketentuan SNI 1726-2012.
2. Mengaplikasikan hasil perhitungan struktur pada gambar teknik.

1.4 Batasan Masalah

Didalam penyusunan Tugas Akhir ini yang menjadi batasan masalah antara lain:

1. Perencanaan ini tidak meninjau analisa biaya, menejemen konstruksi dan sisi arsitektural.
2. Perencanaan bangunan atas meliputi:
 - a. Kolom, balok, pelat lantai dan tangga menggunakan struktur beton bertulang,
 - b. Struktur atap menggunakan pelat beton bertulang dan rangka baja.
3. Perencanaan bangunan bawah meliputi:
 - a. Basement,
 - b. Sloof,
 - c. Pondasi.

1.5 Manfaat

Adapun beberapa manfaat yang didapat dari penyusunan Tugas Akhir ini antara lain:

1. Dapat mendesain suatu bangunan gedung yang mampu menahan gempa, khususnya pada wilayah gempa kategori desain seismik C.
2. Dapat mendesain dibidang perhitungan basement

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Data Bangunan

Berikut ini adalah data bangunan yang akan direncanakan:

2.1.1 Data Umum Bangunan

Adapun data umum bangunan adalah sebagai berikut:

1. Nama Gedung : SMA Al-Hikmah Surabaya
2. Lokasi : Jl. Kebonsari Elveka Surabaya
3. Tinggi Bangunan : 15,1 m
4. Jumlah Lantai : 4

2.1.2 Data Bahan

Berikut ini data bahan yang akan digunakan dalam perencanaan bangunan:

1. f_c' : 30 Mpa
2. f_y : 420 Mpa (untuk tulangan utama)
3. f_y : 320 Mpa (untuk tulangan sengkang)
4. mutu baja : BJ 37

2.1.3 Data Tanah

Data tanah berupa data SPT yang didapatkan dari laboratorium mekanika tanah Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS yang akan digunakan dalam perencanaan struktur pondasi yang mendekati daerah tersebut.

2.2 Peraturan yang Dipakai

Dalam menyelesaikan perhitungan struktur bangunan ini agar memenuhi kriteria kekuatan dan kelayakan yang dibutuhkan oleh sebuah gedung dalam perencanaan struktur dengan SRPMM maka, tinjauan pustaka ini akan menjelaskan secara garis besar mengenai teori dan studi pustaka. Perhitungan struktur Gedung SMA Al Hikmah Surabaya ini mengacu pada :

1. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847- 2013);
2. Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (SNI 1729- 2002);
3. Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726- 2012);
4. Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Bangunan Gedung (PPIUG 1983);
5. Disain Beton Bertulang Oleh Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon;
6. Perencanaan Struktur Baja dengan metode LRFD Oleh Agus Setiawan;
7. Dan buku-buku penunjang lain.

2.3 Sistem Rangka Pemikul Momen

SRPM adalah singkatan dari Sistem Rangka Pemikul Momen, atau Moment Resisting Frame. Istilah ini sering kita dengar pada pembahasan mengenai struktur gedung tahan gempa. SRPM merupakan salah satu "pilihan" sewaktu merencanakan sebuah bangunan tahan gempa. Ciri-ciri SRPM antara lain: Beban lateral khususnya gempa, ditransfer melalui mekanisme lentur antara balok dan kolom. Jadi, peranan balok, kolom, dan sambungan balok kolom di sini sangat penting; Tidak menggunakan dinding geser. Walaupun ada dinding, dinding tersebut tidak didesain untuk menahan beban lateral; Tidak menggunakan bresing (bracing). Untuk struktur baja, penggunaan bresing kadang sangat diperlukan terutama pada arah sumbu lemah kolom. Dalam hal ini, bangunan tersebut dapat dianalisis sebagai SRPM pada arah sumbu kuat kolom, dan sistem bresing pada arah lainnya.

SRPM dibagi menjadi tiga tingkatan, yaitu:

1. Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa (SRPMB), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori disain seismik (KDS) A dan B.

2. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori disain seismik (KDS) A, B, dan C.
3. Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK), untuk daerah yang berada di wilayah gempa dengan kategori disain seismik (KDS) A, B, D, E, dan F.

2.3.1 Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa

Adapun hal-hal yang harus diperhatikan dalam perhitungan Sistem Rangka Pemikul Momen Biasa adalah sebagai berikut:

1. *Balok harus mempunyai paling sedikit dua batang tulangan longitudinal yang menerus sepanjang kedua muka atas dan bawah. Tulangan ini harus disalurkan pada muka tumpuan.*
(SNI 2847: 2013 Pasal 21.2.2)
2. *Kolom yang mempunyai tinggi bersih kurang dari atau sama dengan lima kali dimensi c_1 harus didesain untuk geser sesuai dengan 21.3.3.2.*
(SNI 2847: 2013 Pasal 21.2.3)

2.3.2 Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

Adapun hal-hal yang harus diperhatikan dalam perhitungan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah adalah sebagai berikut:

1. *Detail tulangan pada komponen struktur rangka harus memenuhi SNI 2847:2013 Pasal 21.3.4 bila gaya tekan maksimal terfaktor (P_u) untuk komponen struktur yang tidak melebihi persamaan $A_g f_c' / 10$, dengan A_g =luas bruto penampang beton dan f_c' =kuat tekan beton yang disyaratkan. Bila P_u lebih besar detail tulangan rangka harus memenuhi SNI 2847:2013 Pasal 21.3.5. bila sistem slab dua arah tanpa balok membentuk sebagian dari sistem*

penahan gaya gempa, detail tulangan pada sebarang bentang yang menahan momen yang diakibatkan oleh pengaruh gempa (E) harus memenuhi SNI 2847:2013 Pasal 21.3.6.

(Sumber: SNI 2847: 2013 Pasal 21.3.2)

2.3.3 Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus

Merupakan sistem rangka pemikul momen yang mana komponen-komponen struktur dan joint-jointnya menahan gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser dan aksial, sistem ini pada dasarnya memiliki daktilitas penuh dan wajib digunakan di zona resiko gempa tinggi. Struktur harus direncanakan menggunakan sistem penahan beban lateral yang memenuhi persyaratan *detailing* yang khusus dan mempunyai daktilitas penuh. Komponen struktur rangka ini juga harus memenuhi kondisi berikut :

1. Gaya tekan aksial pada komponen struktur, $P_u > 0,1A_g f_c' / 10$.
2. Bentang bersih untuk komponen struktur, $l_n > \text{empat kali tinggi efektif}$
3. Lebar kompoen, $b_w > 0,3h$ dan 250 mm
4. $B_w < \text{lebar komponen penumpu.}$

(Sumber: SNI 2847:2013 Pasal 21.6.2.2)

2.4 Struktur Beton

Beton sebagai bahan konstruksi atau struktur bangunan, sudah dikenal bahkan digunakan sejak ratusan tahun bahkan ribuan tahun lalu. Menurut SNI 2847:2013, beton adalah campuran semen Portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (admixture). Ada pula macam-macam beton adalah sebagai berikut:

a. Beton bertulang

Merupakan gabungan dari dua jenis bahan, yaitu beton polos yang memiliki kekuatan tekan tinggi akan

tetapi kekuatan tarik yang rendah, dan batang baja yang ditanamkan didalam beton agar dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. (sumber. Disain Beton Bertulang; Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon)

b. Beton normal

Merupakan beton yang mengandung hanya agregat yang memenuhi ASTM C33M.

c. Beton polos

Merupakan beton struktur tanpa tulangan atau dengan tulangan kurang dari jumlah minimum yang ditetapkan untung beton bertulang.

d. Beton prategang

Merupakan beton struktural dimana tegangan dalam diberikan untuk mereduksi tegangan tarik potensial dalam beton yang dihasilkan dari beban.

e. Beton pracetak

Merupakan elemen beton struktur yang dicetak ditempat lain dari posisi akhirnya dalam struktur.

f. Beton pasir ringan

Merupakan beton ringan yang mengandung hanya agregat halus berat normal yang memenuhi ASTM C33M dan hanya agregat ringan yang memenuhi ASTM C330M.

g. Beton ringan

Merupakan beton yang mengandung agregat ringan dan berat volume seimbang (equilibrium density), sebagaimana ditetapkan oleh ASTM C567, antara 1140 dan 1840 kg/m³.

h. Beton ringan semuanya

Merupakan beton ringan yang mengandung hanya agregat kasar dan halus ringan yang memenuhi ASTM C330M.

Dari beberapa macam beton diatas, bangunan gedung SMA Al Hikmah Surabaya direncanakan menggunakan beton bertulang.

2.4.1 Beton Bertulang

Beton bertulang telah lama digunakan dalam struktur sebuah bangunan sebagai bahan penyusun struktur utama maupun struktur sekunder. Struktur yang seringkali menggunakan beton bertulang antara lain balok, kolom, sloof, pelat dan tangga.

2.4.1.1 Kelebihan Beton Bertulang

1. Beton memiliki kuat tekan yang relatif tinggi dibandingkan dengan bahan lain.
2. Beton bertulang mempunyai ketahanan yang tinggi terhadap api dan air.
3. Struktur beton bertulang sangat kokoh. Beton bertulang tidak perlu biaya pemeliharaan yang tinggi.
4. Dibandingkan bahan lain, beton bertulang memiliki usia layan yang sangat panjang. Dalam kondisi normal, struktur beton bertulang dapat digunakan sampai kapanpun tanpa kehilangan kemampuannya untuk menahan beban.
5. Beton biasanya merupakan satu-satunya bahan yang ekonomis untuk pondasi tapak, dinding basement, tiang tumpuan jembatan, dan bangunan-bangunan semacam itu.
6. Salah satu ciri khas beton adalah kemampuannya untuk dicetak menjadi bentuk sangat beragam, mulai dari plat, balok, dan kolom yang sederhana sampai atap kubah dan cangkang besar.

2.4.1.2 Kelemahan Beton Bertulang

1. Beton mempunyai kuat tarik yang sangat rendah, sehingga membutuhkan tulangan tarik.
2. Beton bertulang memerlukan bekisting untuk menahan beton tetap di tempatnya sampai beton tersebut mengeras. Selain itu, bekisting juga memerlukan penyangga sementara tetap berada ditempatnya.

3. Beton bertulang memiliki beban sendiri yang sangat berat, sehingga sangat berpengaruh pada struktur-struktur bentang panjang dimana beban mati beton yang sangat besar akan sangat mempengaruhi momen lentur.
4. Akibat beban mati yang sangat besar, beton bertulang akan berukuran relatif besar pada bangunan-bangunan tinggi dan bentang panjang.
5. Sifat-sifat beton sangat bervariasi karena bervariasinya proporsi campuran dan pengadukan.

2.4.1.3 Kekuatan Beton

1. Kekuatan beton terhadap gaya tekan

Kekuatan tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen agregat kasar dan halus, air, dan berbagai jenis campuran. Semakin rendah perbandingan air-semen, semakin tinggi. Karena beton mempunyai nilai tarik yang relatif rendah, maka hanya diperhitungkan di daerah tekan pada penampang saja.

Didalam perencanaan beton bertulang yang umum, kekuatan beton ditetapkan sekitar 20 Mpa sampai 30 Mpa digunakan untuk struktur tanpa prategang, dan sekitar 35 Mpa sampai 42 Mpa untuk beton prategang, sekitar 42 Mpa sampai 69 MPa untuk keadaan khusus. (sumber. disain Beton Bertulang; Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon)

2. Kekuatan beton terhadap gaya tarik

Besi tulangan pada beton bertulang berfungsi sebagai penahan tegangan tarik. Kekuatan beton didalam tarik adalah suatu sifat yang mempengaruhi perambatan dan ukuran dari retak di dalam struktur. Retak – retak ini tidak berpengaruh besar bila beton menerima beban tekan karena beban tekan menyebabkan retak menutup sehingga memungkinkan terjadinya penyaluran tekanan.

Kuat tarik beton bervariasi 8% sampai 15% dari kuat tekannya. Meskipun biasanya diabaikan dalam perhitungan desain, kuat tarik tetap merupakan sifat penting yang mempengaruhi ukuran beton dan seberapa besar retak yang terjadi. Selain itu, kuat tarik dari batang beton diketahui selalu akan mengurangi jumlah lendutan.

2.4.1.4 Modulus Elastisitas

Berbeda dengan baja, modulus elastisitas beton berubah-ubah menurut kekuatannya. Modulus elastisitas juga tergantung pada umur beton, sifat-sifat dari agregat dan semen, dan jenis pembebanan. Menurut SNI 2847, E_c (modulus elastisitas) untuk beton diizinkan diambil sebesar $W_c^{1.5} 0,043\sqrt{f_c'}$ (dalam MPa) untuk nilai W_c sebesar anatar 1440 dan 2560 kg/m³. Untuk beton normal, nilai E_c boleh diambil sebesar $4700\sqrt{f_c'}$.

2.4.1.5 Baja tulangan

Tulangan yang digunakan pada sruktur beton bertulang terdapat dalam bentuk batang atau anyaman kawat yang dilas. Baja tulangan mangacu pada tulangan polos atau tulangan ulir. Tulangan ulir merupakan tulangan yang diberi ulir melalui proses rol pada permukaannya untuk mendapat ikatan yang lebih baik anatar beton dan tulangan.

2.5 Struktur Baja

Baja merupakan salah satu struktur yang paling banyak digunakan ataupun diaplikasikan manusia untuk desain struktur baja selain struktur beton.

2.5.1 Material Baja

Baja yang digunakan dalam struktur dapat diklasifikasikan menjadi baja karbon, baja paduan rendah mutu tinggi, dan baja paduan. Sifat-sifat mekanik dari baja, seperti tegangan leleh dan tegangan putusnya diatur dalam ASTM A6/A6M.

a. Baja karbon

Baja karbon dibagi menjadi 3 kategori tergantung dari presentase kandungan karbonnya, yaitu baja karbon rendah ($C = 0,03-0,35\%$), baja karbon sedang ($C = 0,35-0,55\%$), baja karbon tinggi ($C = 0,55-1,7\%$). Baja yang sering digunakan dalam struktur adalah baja karbon medium, misalnya BJ 37. Baja karbon umumnya memiliki tegangan leleh (f_y) antara 210-250 MPa.

b. Baja paduan rendah mutu tinggi

Memiliki tegangan leleh berkisar 290-550 MPa dengan tegangan putus antara 415-700 MPa.

c. Baja paduan

Baja paduan dapat didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih campuran, seperti nikel, kromium, molibden, vanadium, mangan dan wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki (keras, kuat dan liat), tetapi unsur karbon tidak dianggap sebagai salah satu campuran.

(http://www.academia.edu/8433775/Struktur_Baja_-_Baja_Paduan)

Baja paduan rendah dapat ditempa dan dipanaskan untuk memperoleh tegangan leleh antara 550-570 MPa. Tegangan leleh dari baja paduan biasanya ditentukan sebagai tegangan yang terjadi saat timbul regangan permanen sebesar 0,2%, atau dapat ditentukan pula dengan tegangan pada saat regangan mencapai 0,5%.

2.5.2 Sifat-Sifat Mekanik Baja

Didalam perencanaan struktur baja, sifat mekanis baja yang digunakan dalam perencanaan harus memenuhi persyaratan minimum yang diberikan pada tabel berikut:

Tabel 2.1 Sifat Mekanis Baja Struktural

Jenis Baja	Tegangan putus minimum, f_u (MPa)	Tegangan leleh minimum, f_y (MPa)	Peregangan minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

(SNI 03-1729-2002, Tabel 5.3)

Sifat-sifat mekanis lainnya baja struktural untuk perencanaan ditetapkan sebagai berikut :

1. Modulus elastisitas : $E = 200000 \text{ MPa}$
2. Modulus geser : $G = 80000 \text{ MPa}$
3. Nisbah poisson : $\mu = 0,3$
4. Koefisien pemuaian : $\alpha = 12 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Dari beberapa macam baja diatas, bangunan ini direncanakan menggunakan baja karbon BJ 37.

BAB III METODOLOGI PERENCANAAN

3.1 Langkah Perencanaan

Langkah-langkah yang digunakan dalam perencanaan struktur gedung SMA Al Hikmah Surabaya ini dengan menggunakan metode Struktur Rangka Pemikul Momen Menengah.

3.1.1 Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan pada perencanaan struktur gedung SMA Al Hikmah Surabaya yaitu:

1. Gambar Arsitektur Bangunan

Gambar arsitektur bangunan yang didapatkan berupa gambar denah lantai, gambar tampak, dan gambar potongan melintang. Namun pada tugas akhir ini ada sedikit perubahan pada denah asli, yaitu posisi kolom yang awalnya tidak terletak pada AS bangunan diletakkan tepat pada AS bangunan untuk kemudahan pada proses permodelan di SAP2000.

2. Data Tanah

Data tanah berupa data SPT yang didapatkan dari laboratorium mekanika tanah Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS yang akan digunakan dalam perencanaan.

3. Peraturan-Peraturan Dan Buku Penunjang Lain Sebagai Dasar Teori

3.1.2 Preliminary Design

Penentuan dimensi elemen struktur dikerjakan dengan mengacu pada SNI 2847-2013 maupun ketentuan lain sesuai literatur yang dipakai. Elemen struktur yang perlu direncanakan meliputi struktur primer dan struktur sekunder.

3.1.2.1 Struktur Primer

Preliminary design struktur primer ini meliputi penentuan dimensi balok, penentuan dimensi kolom dan penentuan dimensi sloof.

1.) Perencanaan Dimensi Balok

Untuk menentukan tinggi balok, dapat menggunakan komponen struktur balok tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $\frac{l}{16}$ dan komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $\frac{l}{21}$ sedangkan lebarnya dapat di ambil dari nilai $2/3$ dari tinggi balok yang telah di dapat.

(Sumber: SNI 2847-2013, Tabel 2.11)

2.) Perencanaan Dimensi Kolom

Kolom harus dirancang untuk menahan gaya aksial dari beban terfaktor pada semua lantai. Untuk itu perencanaan dimensi kolom direncanakan *strong coloumn weak beam*, sehingga didapatkan rumusan sebaagai berikut:

$$\frac{I_{kolom}}{l_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{l_{balok}}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} I_{kolom} &= \text{inersia kolom } (1/12 \times b \times h^3) \\ I_{kolom} &= \text{tinggi bersih kolom} \\ I_{balok} &= \text{inersia balok } (1/12 \times b \times h^3) \\ I_{balok} &= \text{tinggi bersih balok} \end{aligned}$$

$$b_k \text{ dan } d_k \geq 250 \text{ mm}$$

$$\frac{h_k}{b_k \text{ atau } d_k} \leq 25$$

Dimana:

$$\begin{aligned} b_k &= \text{inersia kolom } (1/12 \times b \times h^3) \\ d_k &= \text{tinggi bersih kolom} \\ h_k &= \text{inersia balok } (1/12 \times b \times h^3) \end{aligned}$$

(Sumber: SNI 2847:2013, Pasal 8.10.1)

3.) Perencanaan Dimensi Sloof

Dalam hal ini sloof bekerja sebagai pengikat antar kolom sehingga mengalami gaya aksial sama halnya dengan kolom, untuk itu dalam perhitungan dimensinya menggunakan rumusan yang sama dengan kolom.

3.1.2.2 Struktur Sekunder

Struktur sekunder meliputi plat, tangga dan rangka atap baja. Untuk perhitungan penentuan dimensinya akan dihitung sesuai dengan aturan yang ada dibawah ini.

1. Penentuan Dimensi Plat

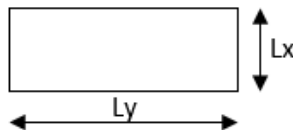
Dalam penentuan dimensi plat ini akan dibedakan menjadi dua, yaitu plat satu arah dan plat dua arah.

Komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi defleksi atau deformasi apapun yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja.

(Sumber: SNI 2847- 2013 Pasal 9.5)

1.) Perencanaan Pelat Satu Arah (One Way Slab)

Pelat satu arah terjadi apabila $L_y/L_x > 2$; dimana L_x adalah bentang pendek dan L_y adalah bentang panjang.



Tebal minimum yang di tentukan dalam tabel 9.5(a) SNI 2847:2013 berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menumpu atau tidak di satukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar, kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat di gunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan.

(Sumber: SNI 2847-2013, Pasal 9.5.2.1)

Tabel 3.1 *Tebal Minimum Balok Non Prategang Atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung*

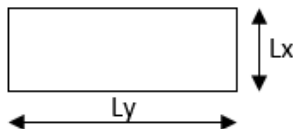
Komponen struktur	Tebal minimum, h			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	$\ell / 20$	$\ell / 24$	$\ell / 28$	$\ell / 10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$\ell / 16$	$\ell / 18,5$	$\ell / 21$	$\ell / 8$

CATATAN:
 Panjang bentang dalam mm.
 Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasikan sebagai berikut.
 (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (*equilibrium density*), w_c , di antara 1440 sampai 1840 kg/m³, nilai tadi harus dikalikan dengan $(1,65 - 0,0003w_c)$ tetapi tidak kurang dari 1,09
 (b) Untuk f_y selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan $(0,4 + f_y/700)$.

(Sumber: SNI 2847-2013, Tabel 9.5(a))

2.) Perencanaan Pelat Dua Arah (Two Way Slab)

Pelat dua arah terjadi apabila $l_y/l_x < 2$; dimana l_x adalah bentang pendek dan l_y adalah bentang panjang.

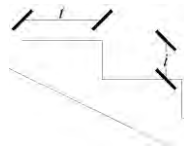


Tebal pelat minimumnya harus memenuhi ketentuan tabel 1.4 dan tidak boleh kurang dari nilai berikut:

- a. Tanpa penebalan > 125 mm
- b. Dengan penebalan > 100 mm

2. Penentuan Dimensi Tangga

Untuk ukuran anak tangga digunakan persamaan:



Gambar 3-0-1 Dimensi Tangga

$$\tan \alpha = \frac{T}{I}$$

$$2. t + i = (61 - 65) \text{ cm}$$

Dengan:

t = tinggi bidang ijakan (optrede)

i = lebar bidang ijakan (aantrede)

$$T = \sum t$$

$$I = \sum i$$

(Sumber: Ali Asroni, Balok dan Plat Beton Bertulang)

3. Penentuan Profil Rangka Atap

Untuk profil baja yang akan digunakan akan dihitung sesuai Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD.

(Sumber: SNI 03-1729-2002)

1.) Perhitungan Gording

a. Cek Kelangsingan Penampang

Untuk profil kanal dalam lentur menggunakan persamaan:

$$\text{Flens, } \lambda_f = \frac{b}{2.t_f}$$

$$\text{Web, } \lambda_w = \frac{h}{t_w}$$

Untuk penampang kompak:

$$\text{Flens, } \lambda_f < \lambda_p$$

$$\text{Web, } \lambda_w < \lambda_p$$

Dengan:

$$\text{Flens, } \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

$$\text{Web, } \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

(Sumber: SNI 03-1729-2002 Tabel 7.5-1)

b. Cek Kekakuan Penampang

$$M_n = M_p$$

Dimana: M_n = kekuatan lentur nominal pada penampang

M_p = kekuatan momen plastis perlu penampang kepala-geser

(Sumber: SNI 03-1729-2002 Pasal 8.2.3)

c. Cek Lendutan

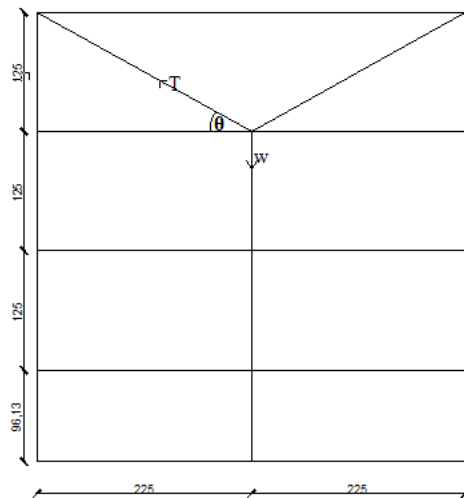
$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{240}$$

Dimana: Δ_{ijin} = lendutan ijin

L = lebar penampang

(Sumber: SNI 03-1729-2002 Tabel 6.4-1)

2.) Perhitungan Penggantung Gording



Berat yang dipikul tiap gording (w)

$$w = q + P$$

Keseimbangan gaya vertikal (N)

$$N = w \times n$$

Gaya yang disalurkan ke kuda-kuda (T)

$$T = \frac{N}{\sin \theta}$$

Luas penggantung gording

$$A = \frac{T}{\sigma_{dasar}}$$

Diameter penggantung gording

$$d = \sqrt{\frac{A}{\frac{1}{4} \times \pi}}$$

Kontrol diameter penggantung gording

$$d_{pakai} \geq d_{min} = \frac{L}{500}$$

Dengan:

- q = beban merata
 - P = beban terpusat
 - n = jumlah gording yang dipikul
 - d_{min} = diameter minimum
 - L = bentang antar gording
- (PPBBI 1984 Pasal 3.3.(4))

3.) Perhitungan Ikatan Angin

$$A = \frac{a+b}{2} \times t$$

$$d_{rencana} = \sqrt{\frac{A}{\frac{1}{4} \pi}} > d_{min} = \frac{L}{500}$$

4.) Perhitungan Kuda-kuda

Kontrol kelangsingan

$$\text{Sayap (flens): } \frac{b}{2t_f} < \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

(SNI 03-1729-2002, Tabel 7.5-1)

$$\text{Badan (web): } \frac{h}{t_w} < \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

(SNI 03-1729-2002, Tabel 7.5-1)

$$\lambda = \frac{L_k}{i_x} \rightarrow L_k = k_c \times L$$

(SNI 03-1729-2002, Pasal 9.3.3)

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

(SNI 03-1729-2002, Pasal 7.6.1)

Sehingga didapatkan koefisien faktor tekuk

$$\omega = 1 \text{ untuk } \lambda_c \leq 0,25$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \text{ untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2$$

$$\omega = 1,25\lambda_c^2 \text{ untuk } \lambda_c \geq 1,2$$

(SNI 03-1729-2002, Pasal 7.6.2)

5.) Perhitungan Kolom Pendek

Kontrol kelangsingan

$$\text{Sayap (flens): } \frac{b}{2t_f} < \frac{170}{\sqrt{f_y}}$$

(SNI 03-1729-2002, Tabel 7.5-1)

$$\text{Badan (web): } \frac{h}{t_w} < \frac{1680}{\sqrt{f_y}}$$

(SNI 03-1729-2002, Tabel 7.5-1)

$$\lambda = \frac{L_k}{i_x} \rightarrow L_k = k_c \times L$$

(SNI 03-1729-2002, Pasal 9.3.3)

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

(SNI 03-1729-2002, Pasal 7.6.1)

Sehingga didapatkan koefisien faktor tekuk

$$\omega = 1 \text{ untuk } \lambda_c \leq 0,25$$

$$\omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67\lambda_c} \text{ untuk } 0,25 < \lambda_c < 1,2$$

$$\omega = 1,25\lambda_c^2 \text{ untuk } \lambda_c \geq 1,2$$

(SNI 03-1729-2002, Pasal 7.6.2)

6.) Perhitungan Pelat Landas

Gaya dalam pelat landas didapatkan dari SAP2000. Perhitungan pelat landas meliputi:

$$\sigma < \sigma_{beton}$$

$$\frac{P_u}{p.l} = 0,85f'_c$$

$$e = \frac{M}{p}$$

$$A = p \cdot l$$

$$W = \frac{1}{6} p \cdot l^2$$

$$\sigma = \frac{P}{A} \pm \frac{M}{W}$$

Menentukan tebal pelat landas

$$a = \frac{l-h}{2}$$

$$M_{pelat} = \frac{1}{2} \sigma \cdot a \cdot l$$

$$\sigma_{ijin} = \frac{M_{pelat}}{W}$$

Perencanaan angker

$$P_u = \frac{M+P \cdot r}{c}$$

7.) Perhitungan Sambungan

Sambungan pada kuda-kuda terdiri dari sambungan baut dan sambungan las dan baut.

3.1.3 Pembebanan

Pembebanan struktur gedung SMA Al-Hikmah Surabaya mengacu pada Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 (PPIUG 1983) dan Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726-2012). Berikut adalah beban yang bekerja pada gedung :

1. Beban mati

Terdiri dari:

- 1.) Spesi tebal 2 cm
- 2.) Keramik
- 3.) Dinding (setengah bata)
- 4.) Genteng, usuk, reng
- 5.) Plafond dan penggantung
- 6.) ME dan Pumbing

2. Beban hidup

Terdiri dari:

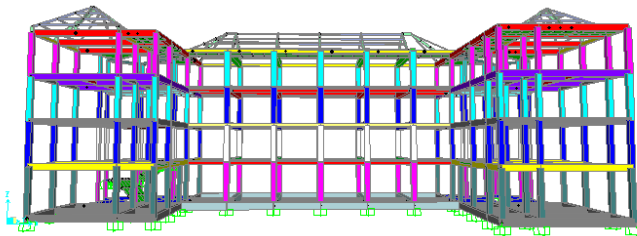
- 1.) Beban hidup pada gording adalah beban pekerja sebesar 100 kg
- 2.) Beban hidup gedung sekolah ditentukan sebesar 250 kg/m^2 (PPIUG 1983 tabel 3.1)
- 3.) Beban hidup tangga ditentukan sebesar 300 kg/m^2 (PPIUG 1983 tabel 3.1)
- 4.) Beban Angin ditentukan 25 kg/m^2 (PPIUG 1983 pasal 4.2. 1)
- 5.) Air hujan
- 6.) Angin.

3. Beban gempa

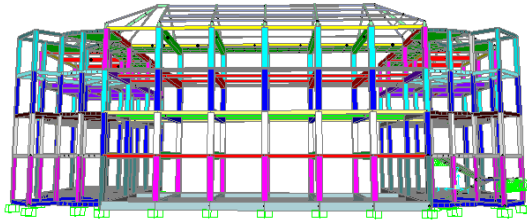
Beban geser dasar nominal (V) yang sesuai dengan SNI 1726- 2012.

3.1.4 Analisa Struktur

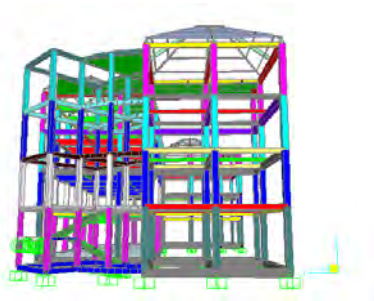
Model struktur dibuat mendekati dengan kondisi asli yaitu menyatukan struktur utama dengan struktur sekunder. Semua komponen struktur baik primer dan sekunder dimodelkan dalam SAP2000. Direncanakan sloof sejajar dengan pile cap, sehingga dalam permodelan ini sloof tidak ikut dimodelkan melainkan dihitung secara terpisah dengan manual. Untuk perletakan, pile cap direncanakan menggunakan perletakan jepit, pelat direncanakan menggunakan jepit elastis, balok dan kolom direncanakan menggunakan perletakan jepit.



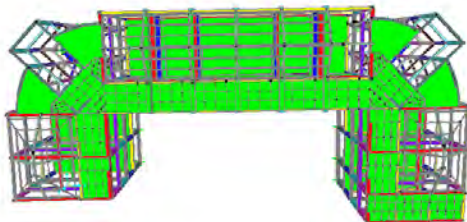
Gambar 3-0-2 Tampak Barat Laut



Gambar 3-0-3 Tampak Tenggara



Gambar 3-0-4 Tampak Samping



Gambar 3-0-5 Tampak Atas Bangunan

3.1.5 Analisa Gaya Dalam

Nilai gaya dalam diperoleh dari program bantuan SAP 2000 dengan kombinasi pembebanan sesuai dengan SNI 03-2847-2013 pasal 9.2 sebagai berikut :

- 1,4DL
- 1,2DL + 1,6LL
- 1,2DL + 1LL + 1EX + 0,3EY
- 1,2DL + 1LL + 0,3EX + 1EY
- 0,9DL + 1EX + 0,3EY
- 0,9DL + 0,3EX + 1EY

Keterangan :

- DL : Beban Mati (Dead Load)
- LL : Beban Hidup (Life Load)
- EX : Beban gempa searah sumbu X (Earthquake – X)
- EY : Beban gempa searah sumbu Y (Earthquake – Y)

3.1.6 Perhitungan Tulangan Struktur

Penulangan dihitung berdasarkan SNI 03 – 2847 – 2013 dengan memperhatikan standar penulangan-penulangan pada pelat, balok, kolom dan pondasi, serta menggunakan data-data yang diperoleh dari output SAP 2000.

- a. Dari output SAP 2000 diperoleh gaya geser (V), Momen (M), Torsi (T) dan gaya aksial (P).
- b. Perhitungan kebutuhan penulangan geser lentur dan puntir pada semua komponen struktur utama.
- c. Kontrol kemampuan dan cek persyaratan.
- d. Penggambaran detail penulangan.

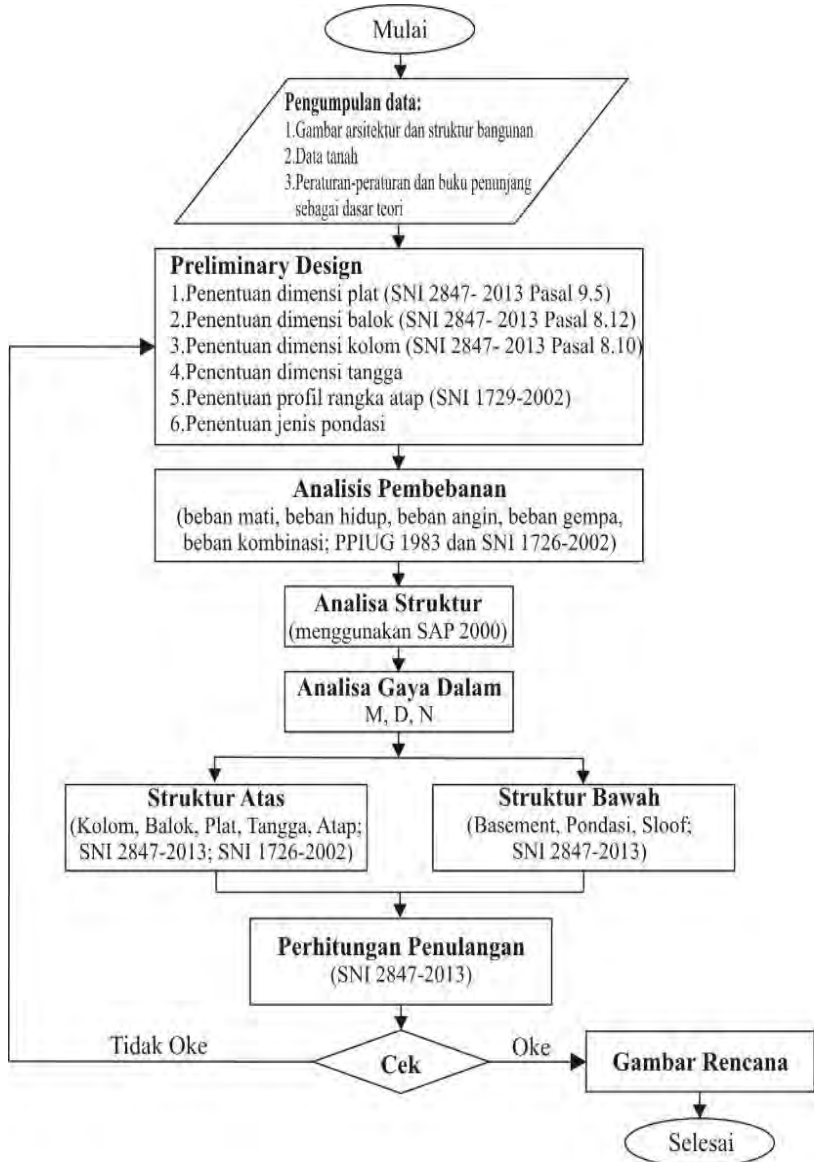
3.1.7 Gambar Rencana

Hasil penggambaran dari perhitungan struktur gedung SMA Al- Hikmah adalah sebagai berikut:

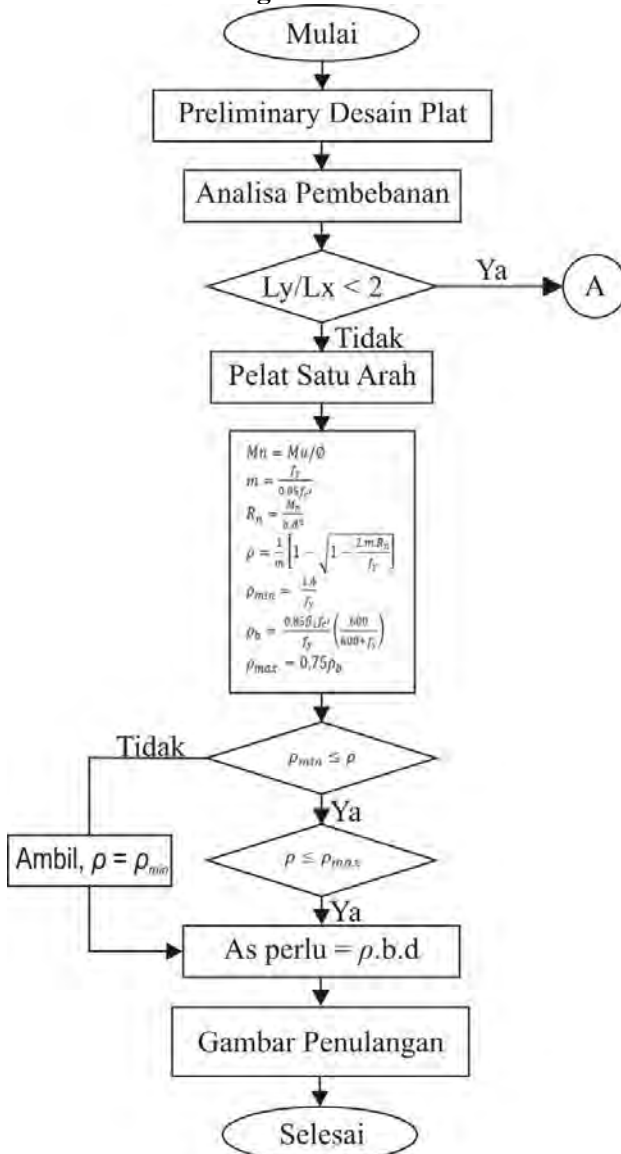
1. Gambar Arsitektur
 - a. Denah
 - 1.) Denah Lantai Basement
 - 2.) Denah Lantai 1
 - 3.) Denah Lantai 2,3

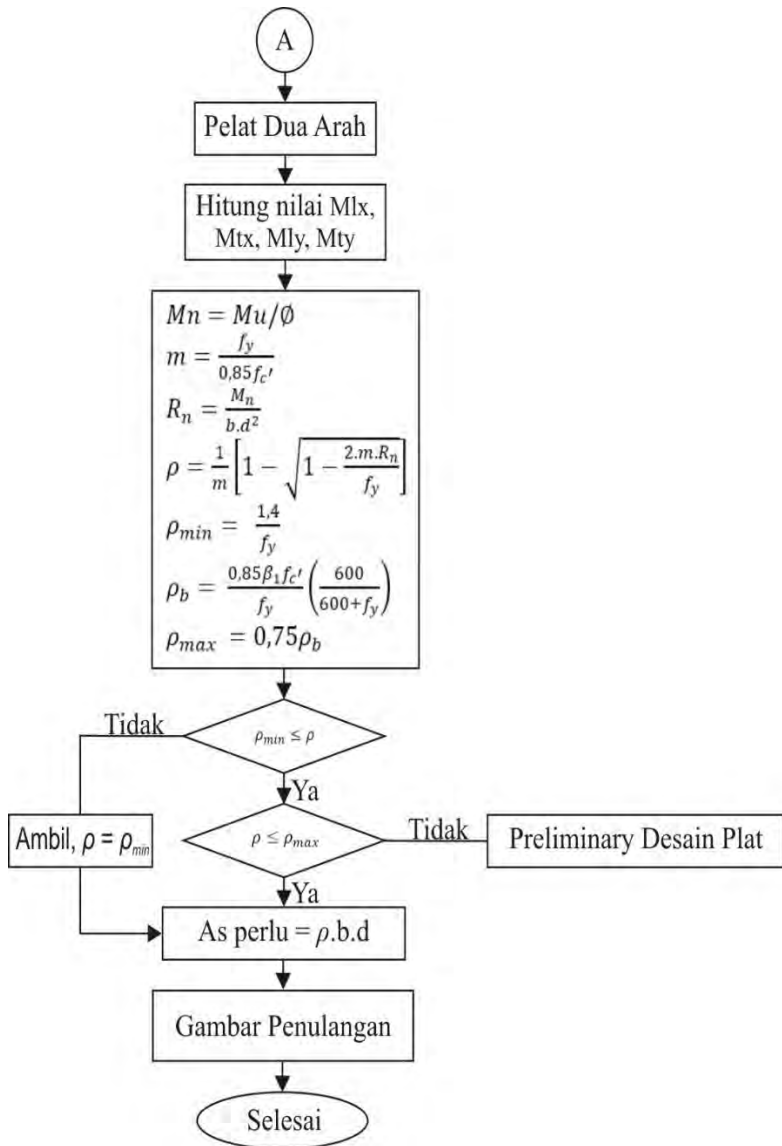
- 4.) Denah Atap
- b. Tampak
 - 1.) Tampak Barat Laut
 - 2.) Tampak Tenggara
- 2. Gambar Potongan
 - a. Potongan A-A'
 - b. Potongan B-B'
- 3. Gambar Penulangan
 - a. Penulangan balok
 - b. Penulangan kolom
 - c. Penulangan pelat lantai
 - d. Penulangan pelat atap
 - e. Penulangan tangga
 - f. Penulangan sloof
 - g. Penulangan pelat basement
 - h. Penulangan pondasi
- 4. Gambar Detail
 - a. Detail sambungan kuda-kuda
 - b. Detail pondasi
- 5. Gambar Struktur
 - a. Balok dan Kolom
 - 1.) Denah Balok dan Kolom Lantai 1
 - 2.) Denah Balok dan Kolom Lantai 2,3
 - 3.) Denah Balok Atap
 - 4.) Denah Kolom Pendek
 - b. Basement, Sloof dan Pondasi
 - 1.) Denah Sloof
 - 2.) Denah Pelat Basement
 - 3.) Denah Pondasi
 - c. Denah Rangka Atap

3.2 Flow Chart Perencanaan

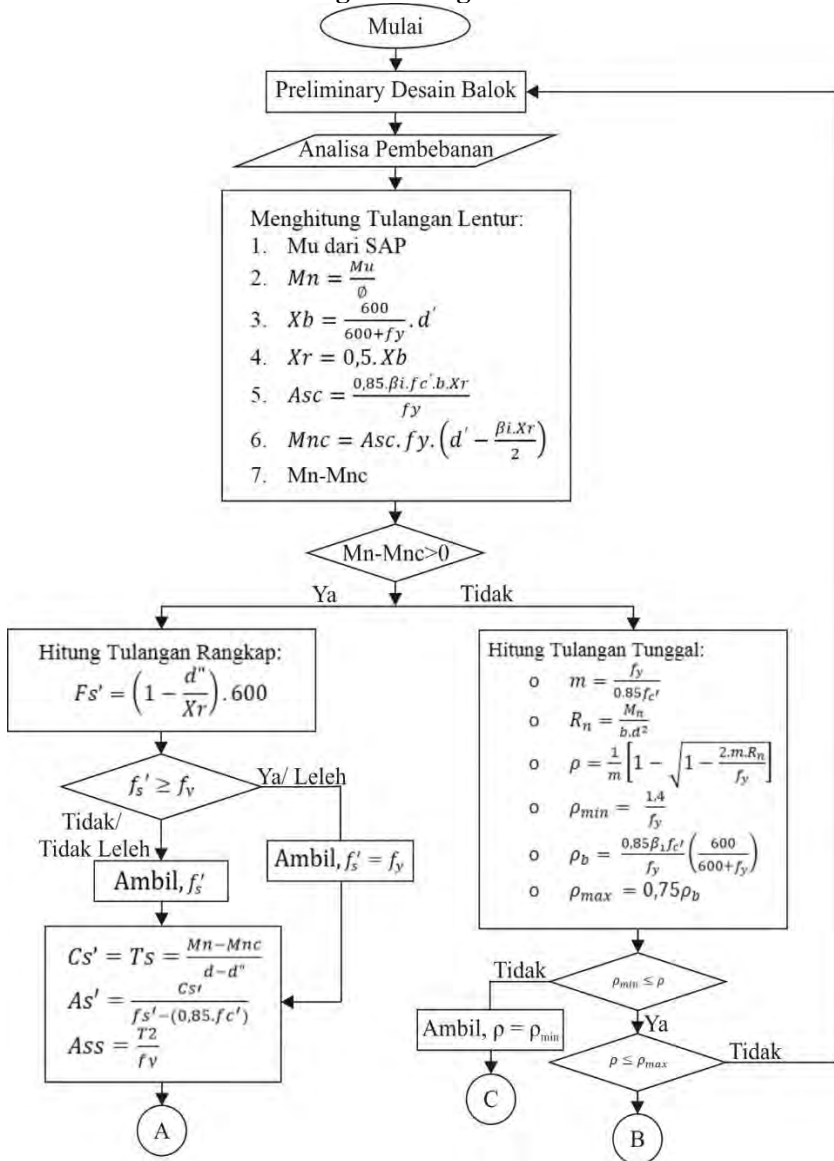


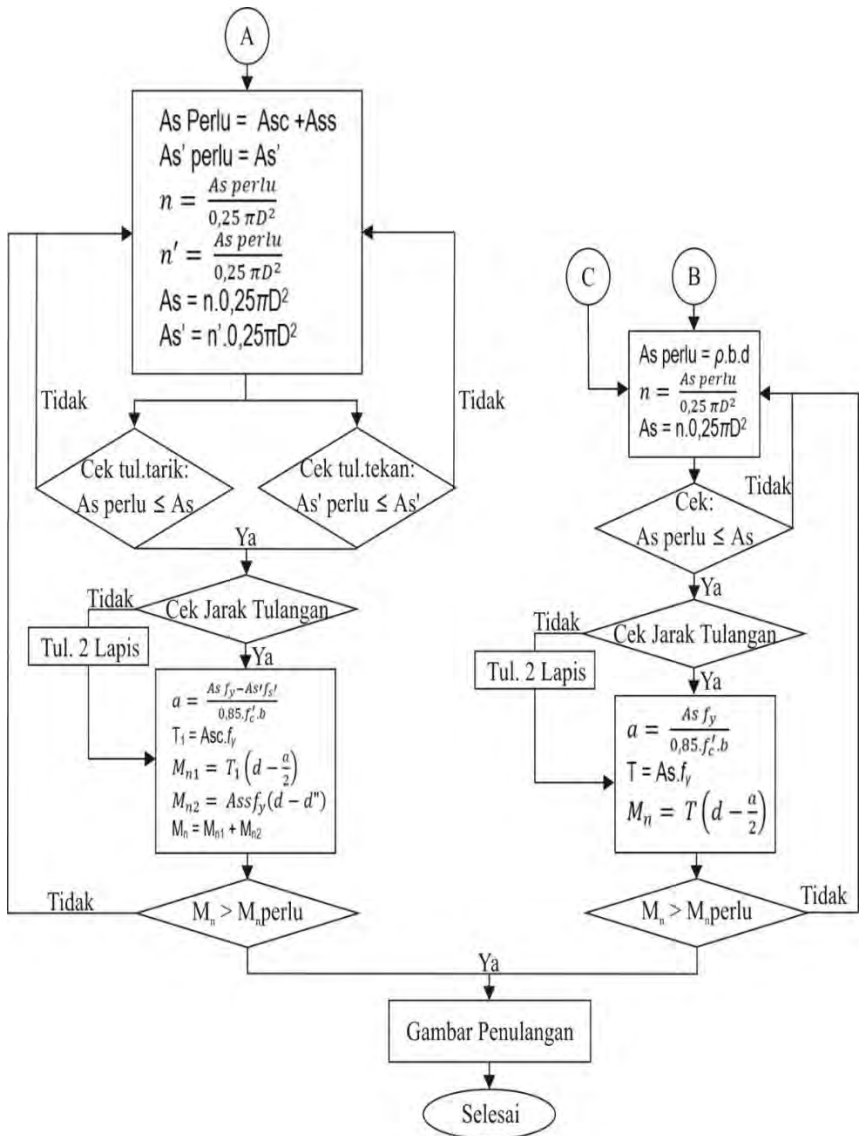
3.2.1 Flow Chart Perhitungan Pelat



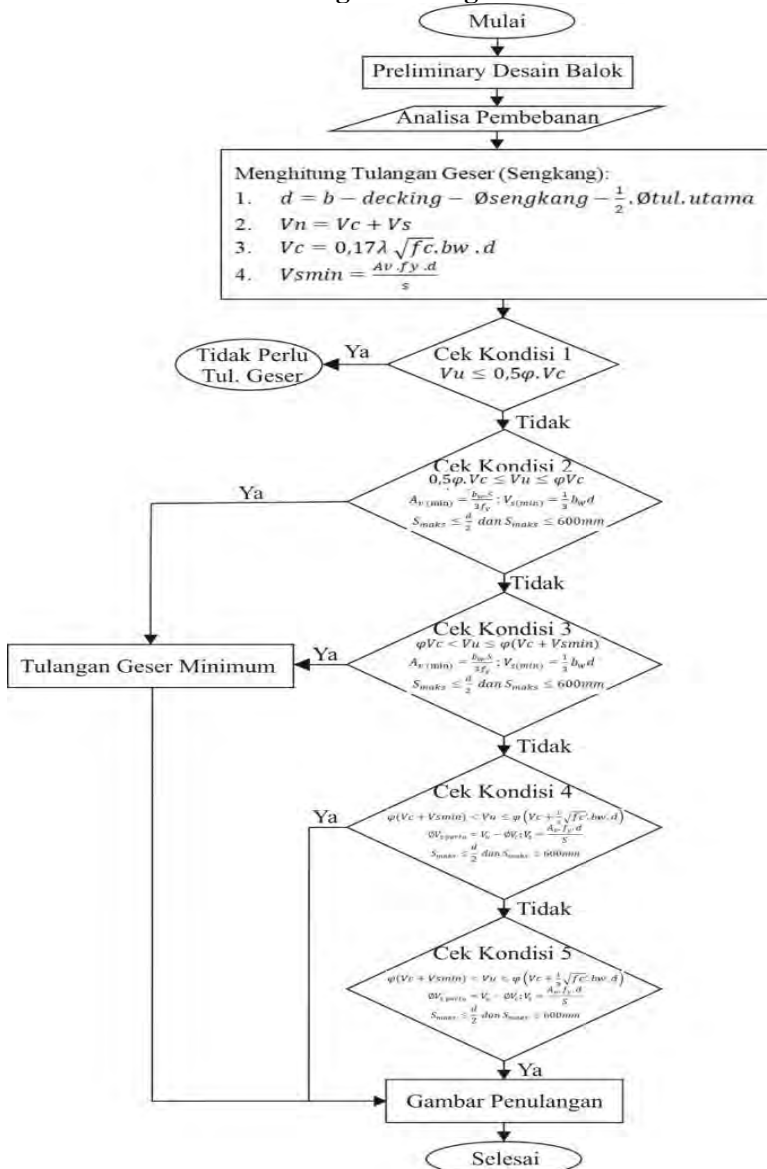


3.2.2 Flow Chart Perhitungan Tulangan Lentur Balok

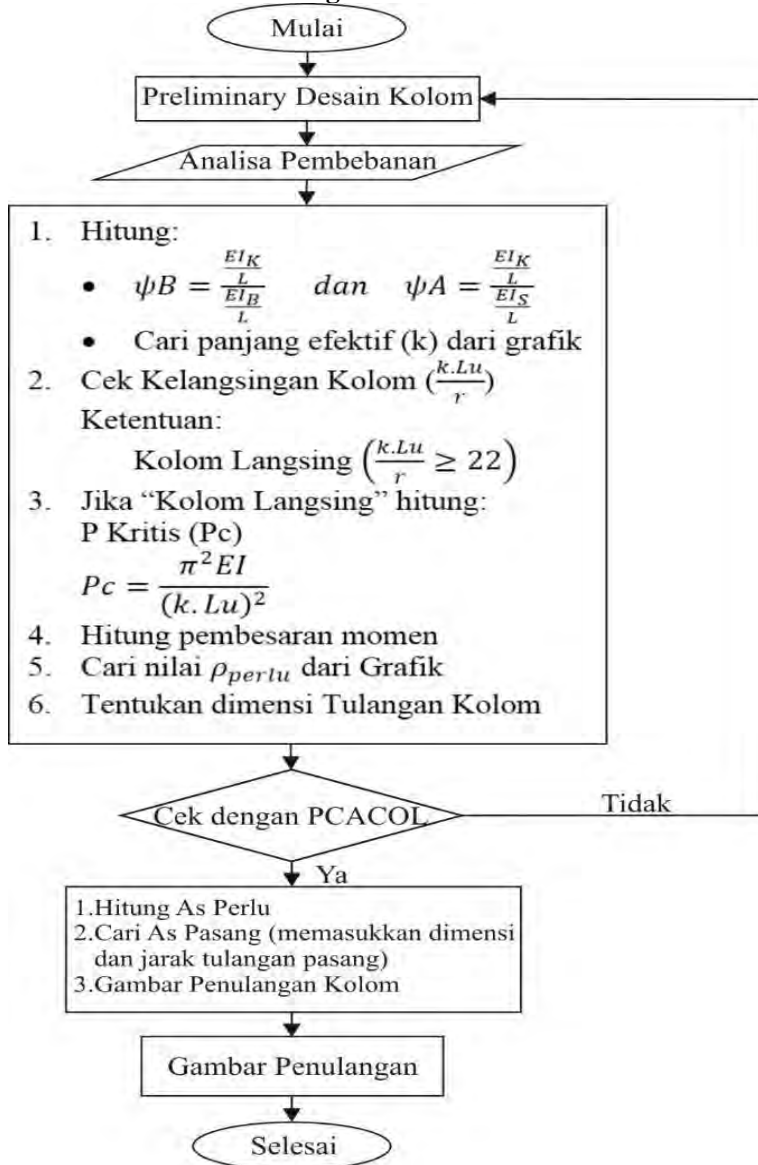




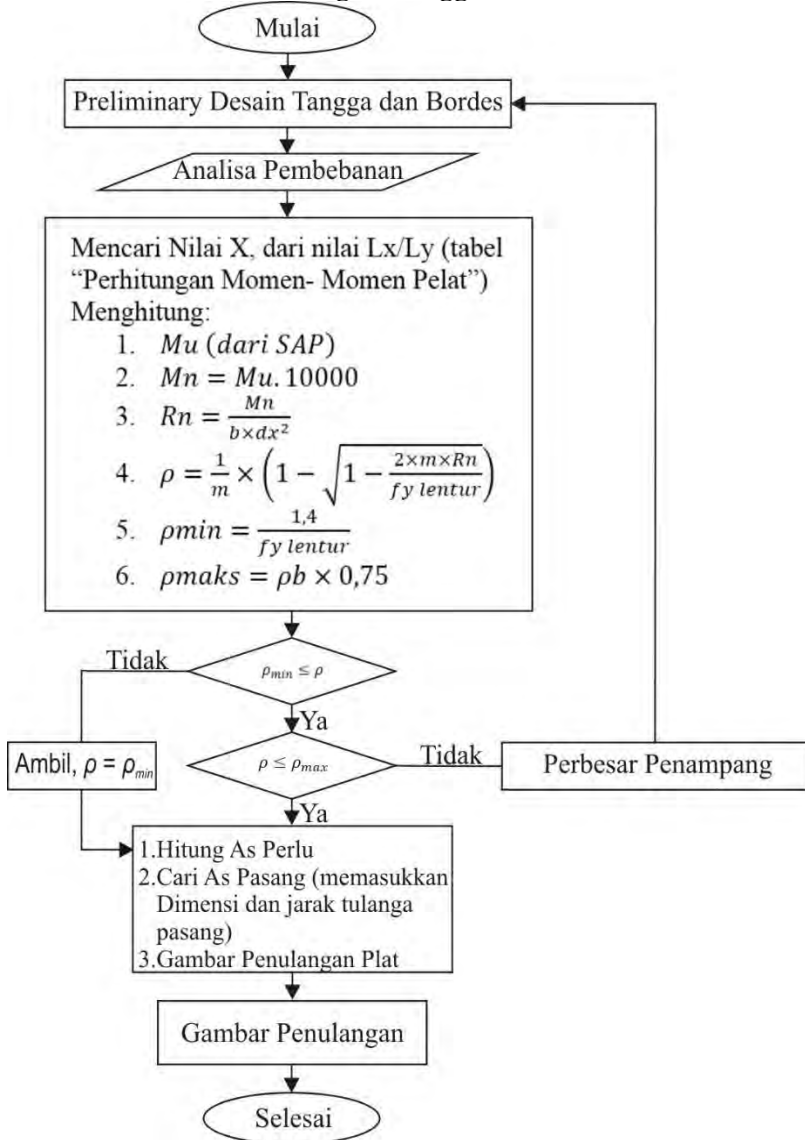
3.2.3 Flow Chart Perhitungan Tulangan Geser Balok



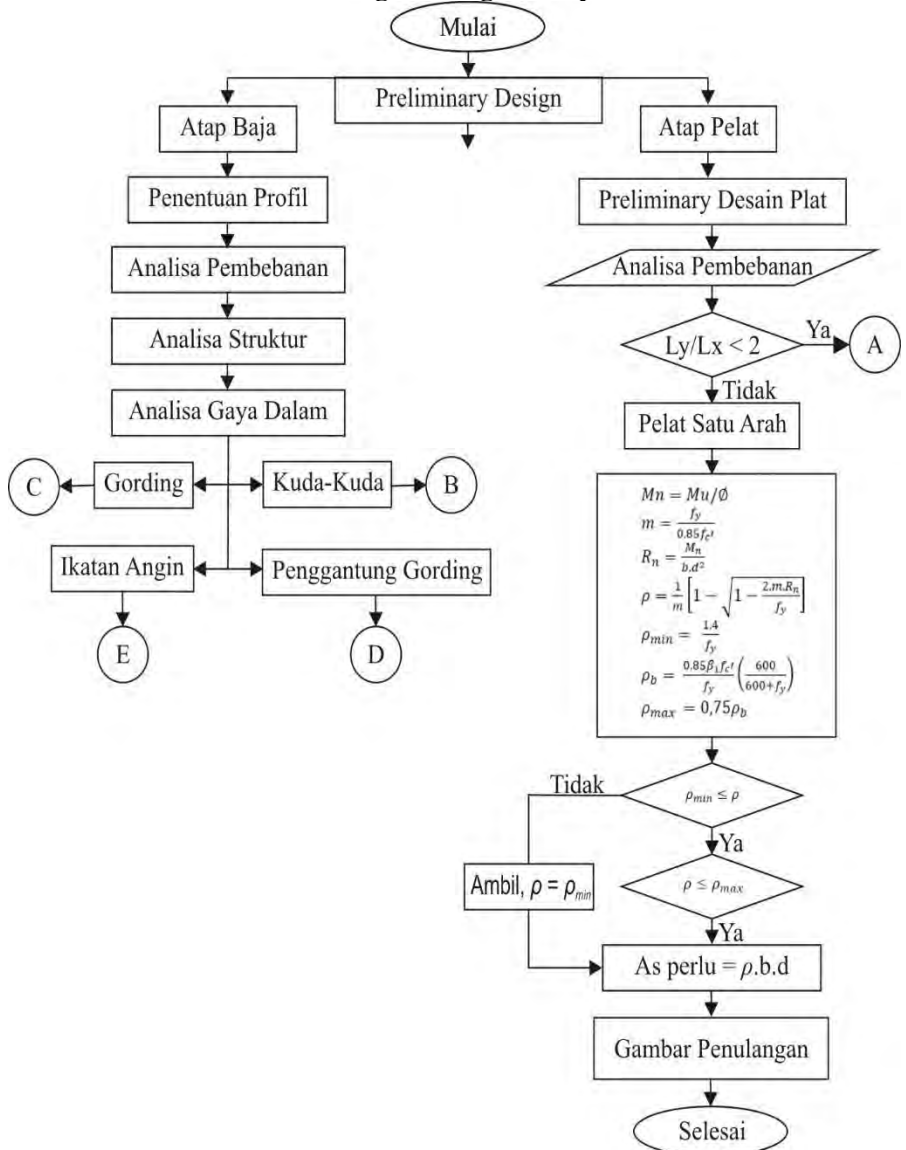
3.2.4 Flow Chart Perhitungan Kolom

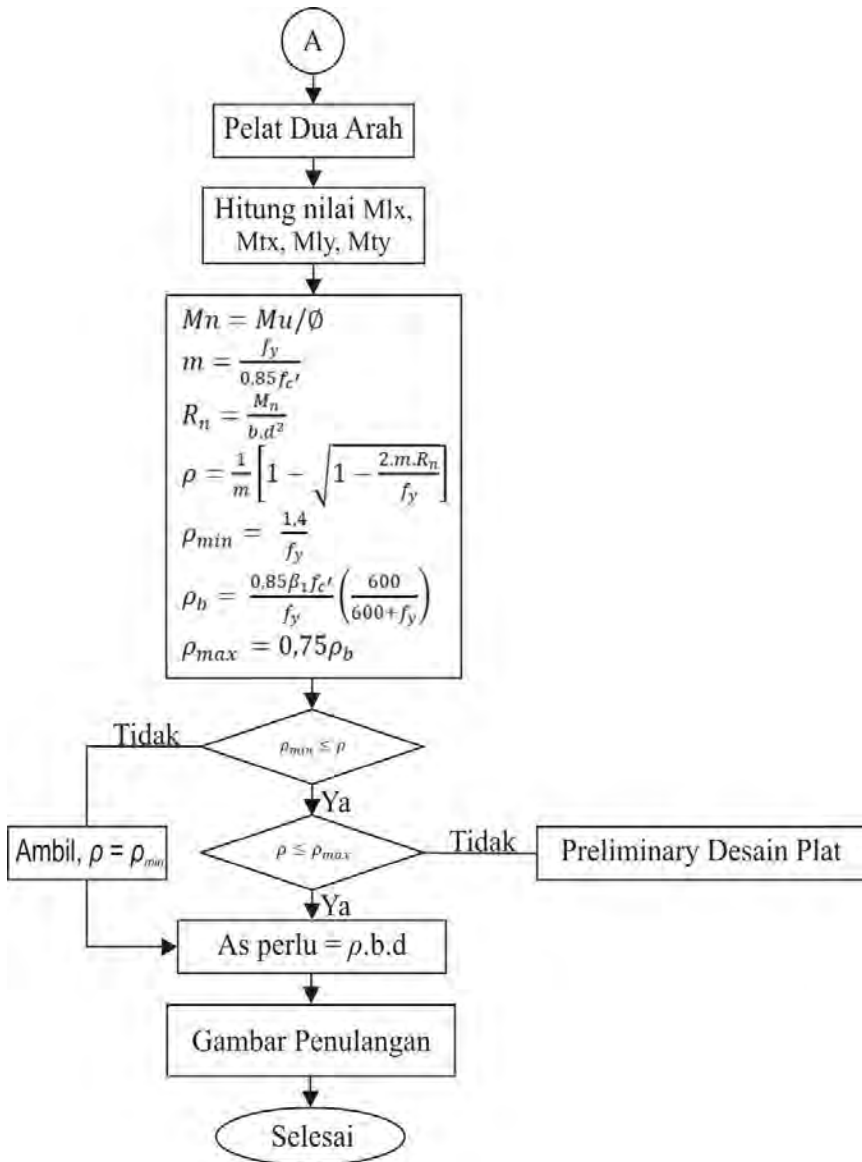


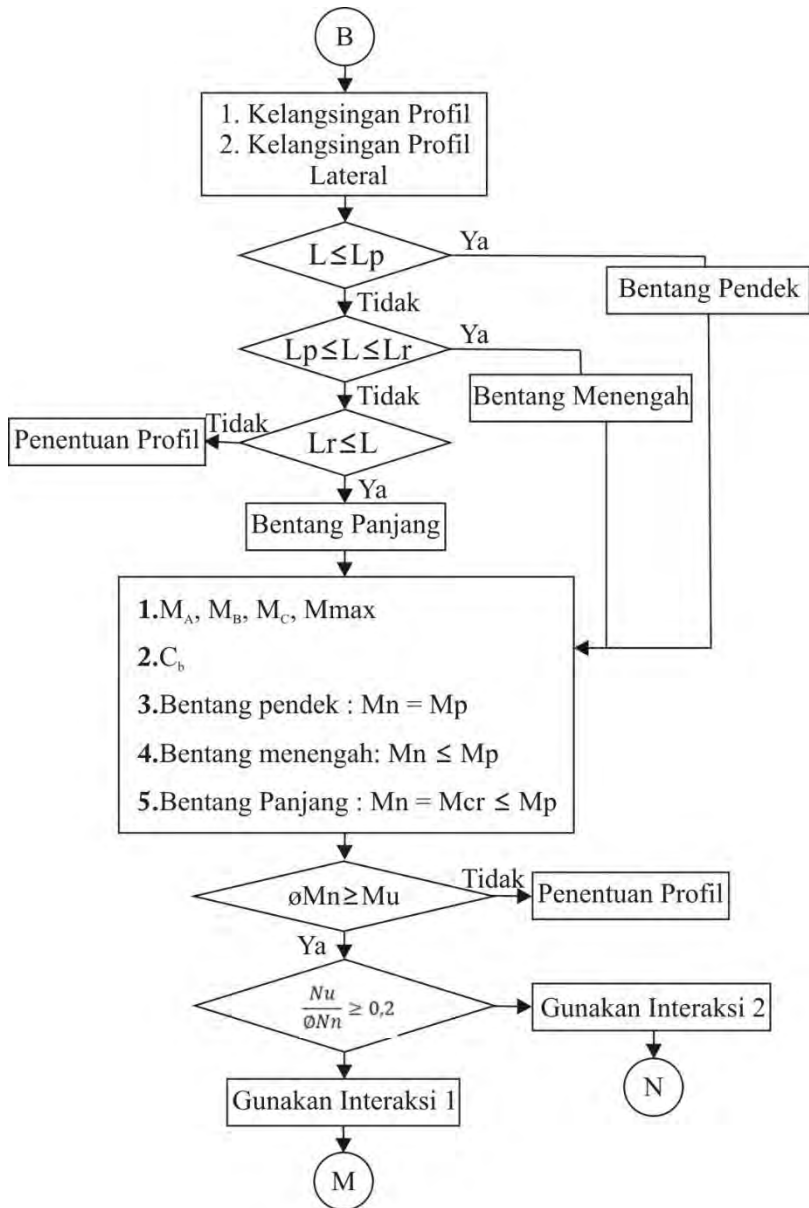
3.2.5 Flow Chart Perhitungan Tangga

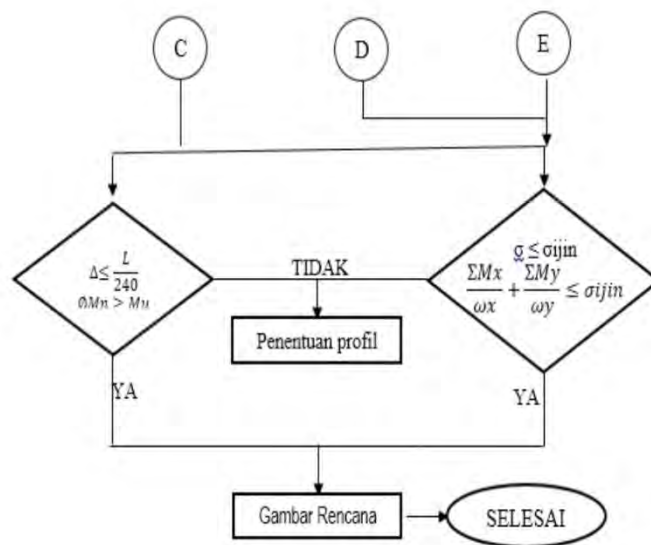
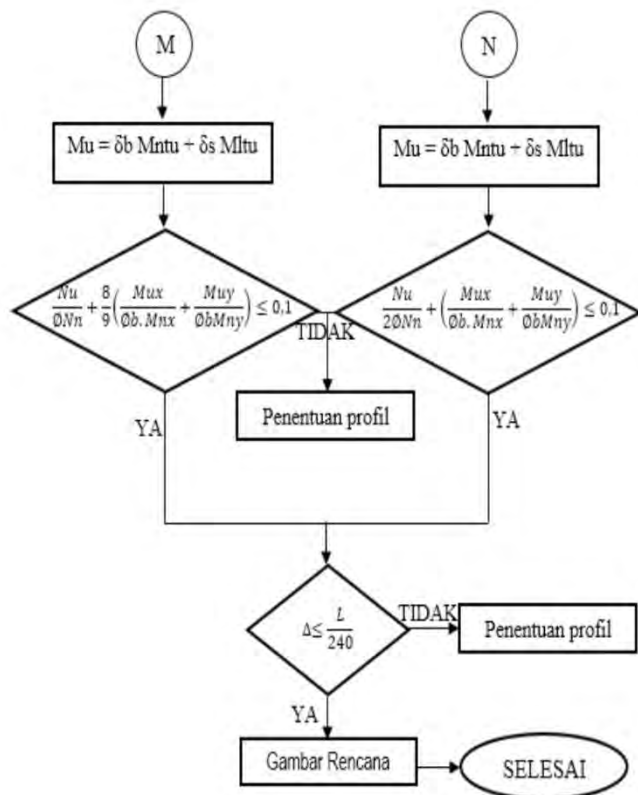


3.2.6 Flow Chart Perhitungan Rangka Atap

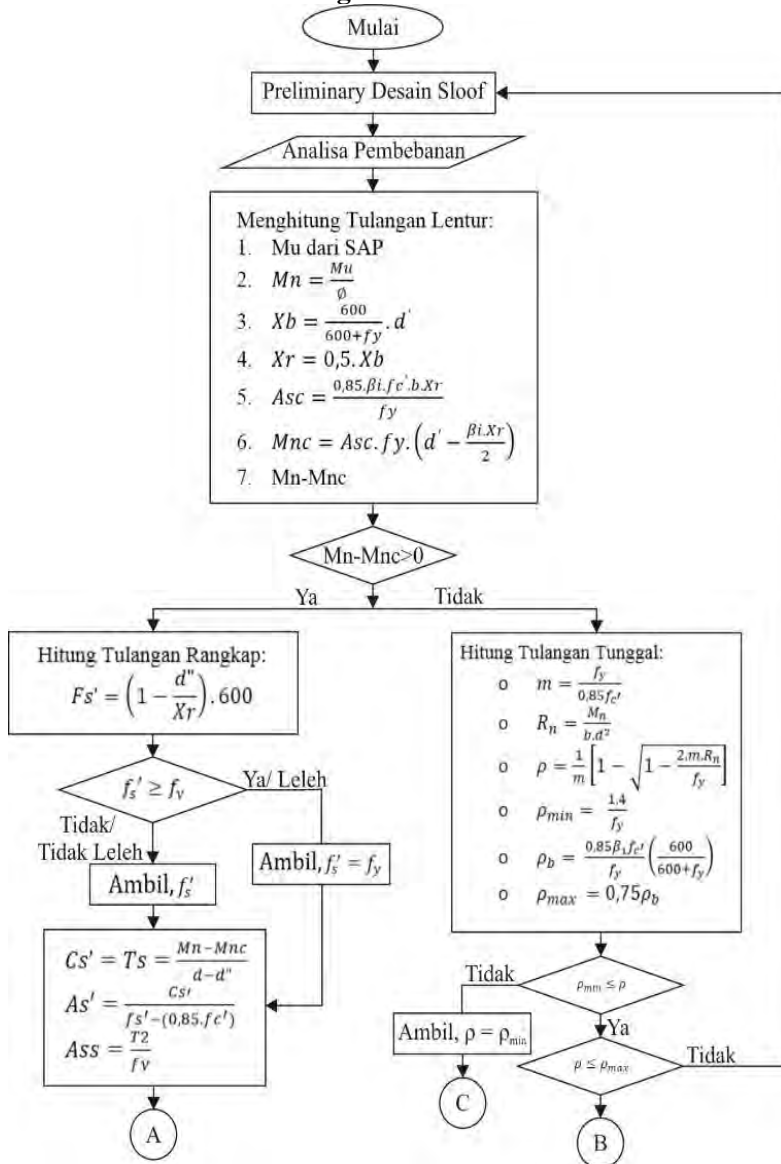


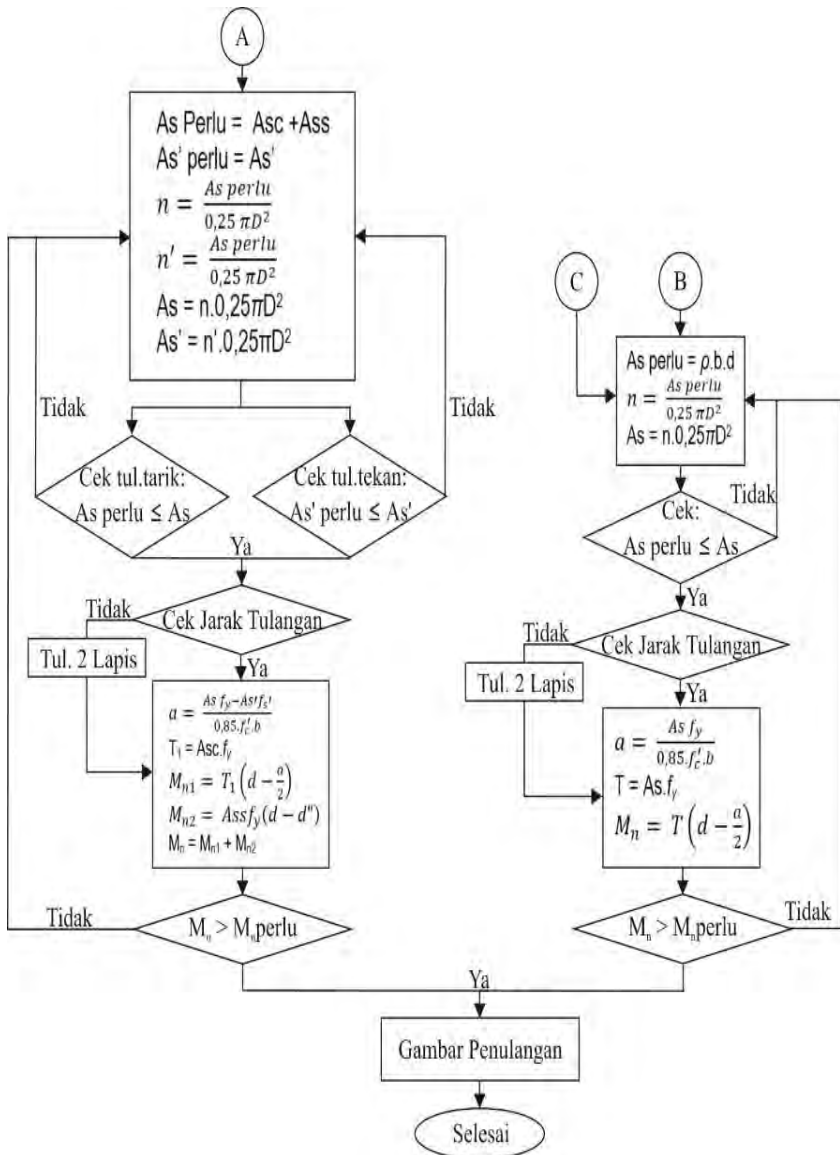




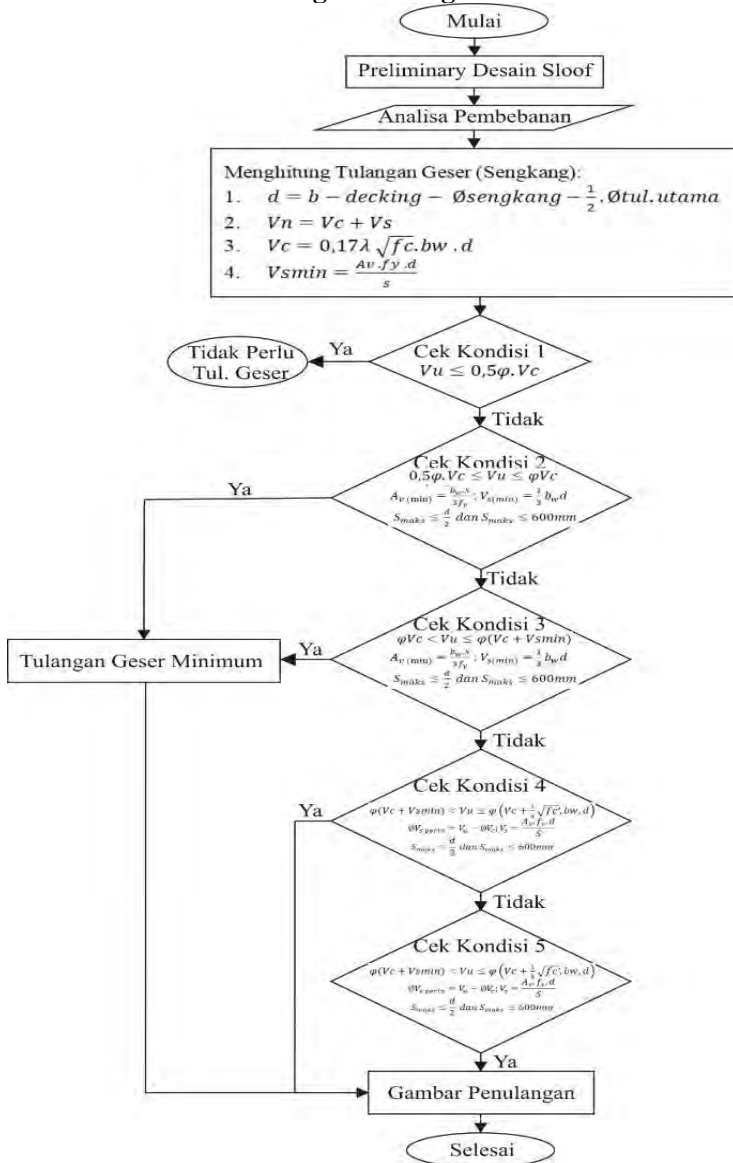


3.2.7 Flow Chart Perhitungan Sloof

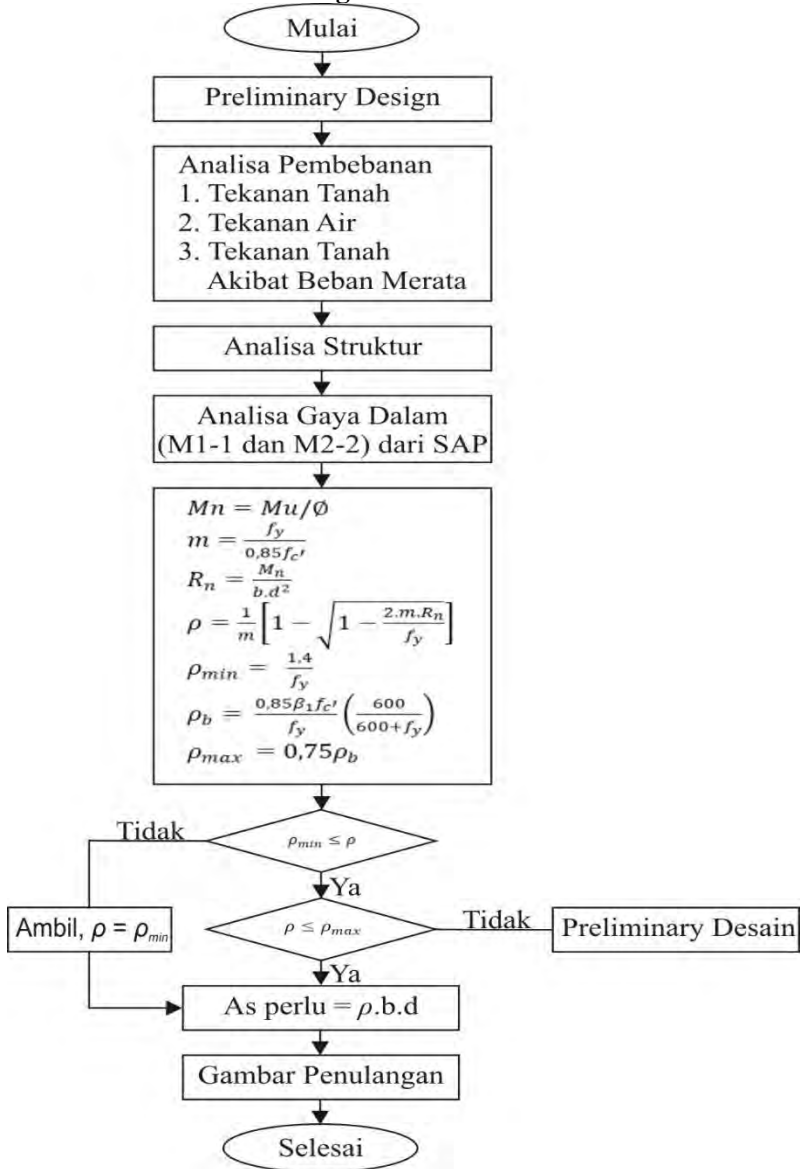




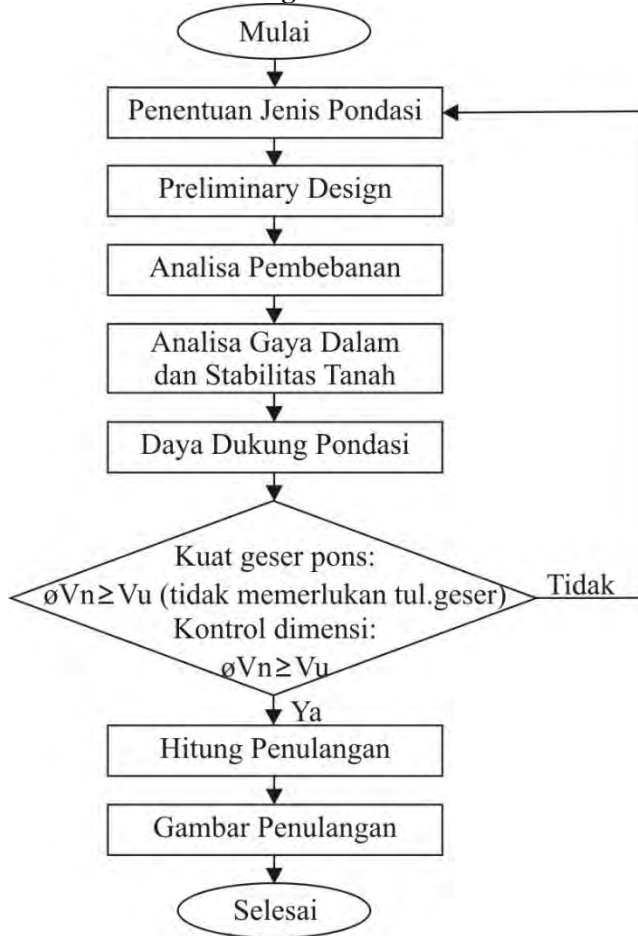
3.2.8 Flow Chart Perhitungan Tulangan Geser Sloof



3.2.9 Flow Chart Perhitungan Basement



3.2.10 Flow Chart Perhitungan Pondasi



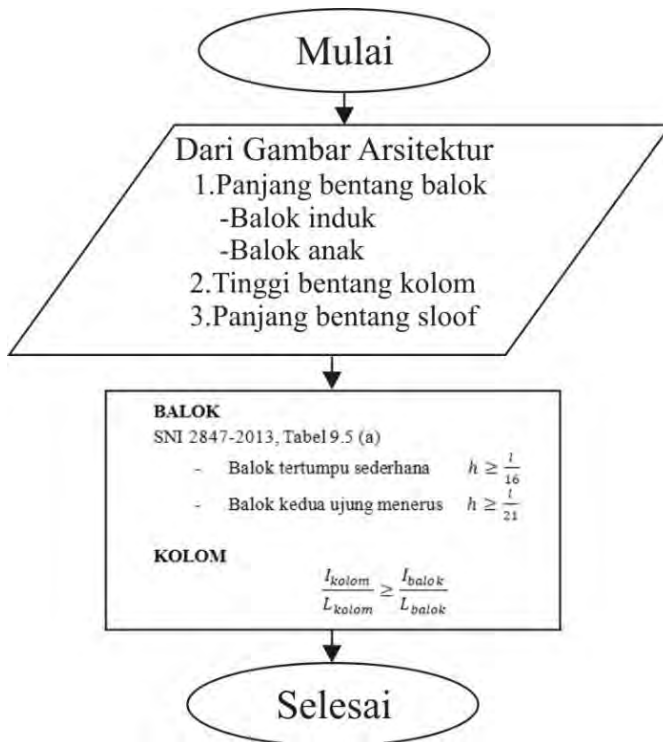
“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perencanaan Awal Struktur

Perencanaan dimensi berikut bertujuan untuk mencari dimensi struktur balok, kolom dan sloof rencana.

Skema perencanaan dimensi struktur adalah sebagai berikut:



4.1.1 Perencanaan Dimensi Balok

Rencana struktur:

$$f'c = 30 \text{ Mpa} = 30 \text{ N/mm}^2 = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa} = 420 \text{ N/mm}^2 = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

1. Balok Induk

Sesuai SNI 03-2847-2013 tabel 2.11 komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $\frac{L}{16}$.

Tipe Balok : B1
 AS : K(4-15); L(4-15); M(4-15); N(4-15);
 O(4-15)

$$h = \frac{l}{16} \qquad b = \frac{2}{3} \times 65 \text{ cm}$$

$$= \frac{1000 \text{ cm}}{16} \qquad = 41,67 \text{ cm} \approx 45 \text{ cm}$$

$$= 62,5 \text{ cm} \approx 65 \text{ cm}$$

(SNI 03-2847-2013 tabel 2.11)

Jadi, balok induk B1 direncanakan dengan dimensi 45/65 cm.

Dari hasil perhitungan perencanaan diatas maka dapat disimpulkan gedung tersebut menggunakan struktur dengan dimensi sebagai berikut:

Tabel 4.0.1 Dimensi Balok Rencana

Nama	As	l (cm)	h (cm)	b (cm)
Balok induk B1	K(4-15); L(4-15); M(4-15); N(4-15); O(4-15)	1000	65	45
Balok induk B2	A(2-3); A(3-4); G(2-3); G(3-4); 4(G-K); 4(K-L); 4(L-M); 4(M-N); 4(N-O); 4(O-Q); 15(J-K); 15(K-L); 15(L-M); 15(M-N);	750	50	35

	15(N-O); 15(O-P); Q(1-2); Q(2-3); Q(3-4); T(1-2); T(2-3); T(3-4)			
Balok induk B3	2(A-G); 2(G-J); 3(A-G); 3(G-J); 4(A-G); J(2-3); J(3-7); J(7-15); P(2-3); P(3-7); P(7-15); 1(P-Q); 1(Q-T); 2(P-Q); 2(Q-T); 3(P-Q); 3(Q-T); 4(Q-T)	450	30	20
Balok induk B4	(4-6); (6-9); (11-14); (9-11); (9-5); (12-13); (13-J); (G-J); (F-I); (I-E); (E-G); (I-J); (P-Q); (P-9)	420	30	20
Balok bordes	(11B-14D); (11R-14S)	400	25	20

2. Balok Anak

Sesuai SNI 03-2847-2013 tabel 2.11 komponen struktur balok dua tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum (h) menggunakan $\frac{l}{21}$.

Berikut ini adalah gambar denah balok:

Tipe Balok : B5

$$\begin{aligned}
 h &= \frac{l}{21} & b &= \frac{2}{3} \times 25 \text{ cm} \\
 &= \frac{450 \text{ cm}}{21} & &= 16,67 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm} \\
 &= 21,429 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\approx 25 \text{ cm}$$

(SNI 03-2847-2013 tabel 2.11)

Jadi, balok anak B5 direncanakan dengan dimensi 20/25 cm.

4.1.2 Perencanaan Dimensi Kolom

Kolom direncanakan *strong coloumn weak beam*, sehingga direncanakan sebagai berikut:

Data-data perencanaan :

Tipe kolom	: K1
Tinggi kolom (H_{kolom})	: 410 cm
Bentang sloof (L_{sloof})	: 750 cm
Dimensi sloof (b_{sloof})	: 35 cm
Dimensi sloof (h_{sloof})	: 50 cm

$$\begin{aligned} \frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{kolom}}} &\geq \frac{I_{\text{balok}}}{L_{\text{balok}}} \\ \frac{\frac{1}{12}bh^3}{410 \text{ cm}} &\geq \frac{\frac{1}{12}bh^3}{750 \text{ cm}} \\ \frac{\frac{1}{12}h^4}{410 \text{ cm}} &\geq \frac{\frac{1}{12} \times 35 \text{ cm} \times (50 \text{ cm})^3}{750 \text{ cm}} \\ h &\geq \sqrt[4]{16608,7963 \text{ cm}^4} \\ h &\geq 39,32 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dipakai $h = 40 \text{ cm}$

Diasumsikan $h = b$, sehingga $b = 40 \text{ cm}$

Jadi, kolom K1 di rencanakan dengan dimensi 40/40 cm.

Dari hasil perhitungan perencanaan diatas maka dapat disimpulkan gedung tersebut menggunakan struktur dengan dimensi sebagai berikut:

Tabel 4.0.2 Dimensi Kolom Rencana

Nam a	L kolo m (cm)	L balo k (cm)	h balo k (cm)	b balo k (cm)	I balok (cm ⁴)	I kolom (cm ⁴)	b kolo m (cm)	h kolo m (cm)
Kolo m K1	410	1000	65	45	1029843 ,7	422235, 9	50	50
Kolo m K2	410	750	50	35	364583, 3	199305, 6	40	40
Kolo m K3	410	420	30	20	45000	43928,6	30	30

4.1.3 Perencanaan Dimensi Sloof

Dalam hal ini karena sloof menerima tekan, maka untuk perencanaan dimensinya dihitung menggunakan persamaan seperti mencari kolom.

Data-data perencanaan :

Tipe sloof : S1

AS : 4(J-K); 4(K-L); 4(L-M); 4(M-N); 4(N-O);
4(O-P); 15(J-K); 15(K-L); 15(L-M); 15(M-N); 15(N-O); 15(O-P); K(4-15); L(4-15);
M(4-15); N(4-15); O(4-15).

Bentang sloof (L_{sloof}) : 750 cm

Bentang kolom (L_{kolom}) : 410 cm

Dimensi kolom : 40/40 cm

$$\frac{I_{\text{sloof}}}{L_{\text{sloof}}} \leq \frac{I_{\text{kolom}}}{L_{\text{kolom}}}$$

Dipakai $h = 55$ cm

$$\frac{\frac{1}{12}bh^3}{750 \text{ cm}} \leq \frac{\frac{1}{12}bh^3}{410 \text{ cm}}$$

$$b = \frac{2}{3} \times h$$

$$b = \frac{2}{3} \times 55 \text{ cm}$$

$$\frac{\frac{1}{12}h^4}{750 \text{ cm}} \leq \frac{\frac{1}{12} \times 40 \text{ cm} \times (40 \text{ cm})^3}{410 \text{ cm}} = 36.667 \text{ cm}$$

Dipakai $b = 40 \text{ cm}$

$$h \geq \sqrt[4]{213333,333 \text{ cm}^4}$$

$$h \geq 51,48 \text{ cm}$$

Jadi, sloof di rencanakan dengan dimensi 40/55 cm.

Dari hasil perhitungan perencanaan diatas maka dapat disimpulkan gedung tersebut menggunakan struktur dengan dimensi sebagai berikut:

Tabel 4.0.3 Dimensi Sloof Rencana

Nama	L sloof (cm)	L kolom (cm)	kolom (cm)	I kolom (cm ⁴)	I sloof (cm ⁴)	h sloof (cm)	b sloof (cm)
Sloof S1	1000	410	50	520833,3	1270325,2	70	50
Sloof S2	750	410	40	213333,3	390243,9	55	40
Sloof S3	420	410	30	67500	69146,3	35	25

4.2 Perencanaan Struktur Sekunder

Adapun pada perhitungan pelat ini akan dihitung dimensi pelat, pembebanan pada pelat dan perhitungan tulangan pelat untuk pelat atap dan pelat lantai.

4.2.1 Perhitungan Pelat

1. Perhitungan Pelat Atap

Dimensi dari preliminary design digunakan dalam tahap perhitungan berat sendiri (self weight) dalam tahap pembebanan sehingga didapatkan gaya-gaya dalam untuk design penulangan.

a. Perencanaan Dimensi Pelat Atap

Berikut ini adalah perhitungan tebal plat lantai sesuai SNI 2847- 2013 Pasal 9.5.

Data-data perencanaan :

Tipe pelat	: P2
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 Mpa = 300 kg/cm ²
Kuat leleh tulangan (f_y)	: 420 Mpa = 4200 kg/cm ²
Rencana tebal pelat	: 12 cm
Bentang pelat sb. panjang (L_y)	: 450 cm
Bentang pelat sb. pendek (L_x)	: 300 cm
Balok B5	: 20/25 cm
Balok B3	: 20/30 cm
Balok B1	: 45/65 cm
Balok B1	: 45/65 cm

Bentang bersih pelat sumbu panjang :

$$Ln = L_y - \left[\frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2} \right]$$

$$Ln = 450 \text{ cm} - \left[\frac{20 \text{ cm}}{2} - \frac{20 \text{ cm}}{2} \right]$$

$$Ln = 450 \text{ cm} \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3.3})$$

Bentang bersih pelat sumbu pendek :

$$Sn = L_x - \left[\frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2} \right]$$

$$Sn = 300 \text{ cm} - \left[\frac{45 \text{ cm}}{2} - \frac{45 \text{ cm}}{2} \right]$$

$$Sn = 300 \text{ cm}$$

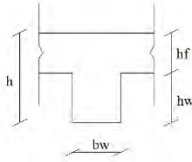
Rasio antara bentang bersih sumbu panjang terhadap bentang bersih sumbu pendek,

$$\beta_n = \frac{Ln}{Sn} = \frac{450 \text{ cm}}{300 \text{ cm}} = 1,5 < 2 \quad \text{Two way slab}$$

(pelat dua arah)

Balok B5 AS 7[L-M] (20/25)

Menentukan lebar efektif sayap balok-T



(SNI 03-2847-2013 psl. 13.2.4)

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8hf$$

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h - t) & b_{e2} &= b_w + (8 \times t) \\ &= 20 \text{ cm} + 2(25 \text{ cm} - 12 \text{ cm}) & &= 20 \text{ cm} + (8 \times 12 \text{ cm}) \\ &= 46 \text{ cm} & &= 116 \text{ cm} \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 psl. 13.2.4)

Pilih nilai terkecil antara b_{e1} dan b_{e2}

$$b_e = 46 \text{ cm}$$

Faktor modifikasi

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{46 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{12 \text{ cm}}{25 \text{ cm}}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12 \text{ cm}}{25 \text{ cm}}\right) + 4\left(\frac{12 \text{ cm}}{25 \text{ cm}}\right)^2 + \left(\frac{46 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{12 \text{ cm}}{25 \text{ cm}}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{46 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{12 \text{ cm}}{25 \text{ cm}}\right)}$$

$$K = 1,455$$

Momen inersia penampang – T

$$I_b = K \times b_w \times \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,455 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times \left(\frac{25 \text{ cm}}{12 \text{ cm}}\right)^3$$

$$I_b = 37902,66 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 0,5(250 \text{ cm} + 200 \text{ cm}) \times \frac{(12 \text{ cm})^3}{12}$$

$$I_p = 3240 \text{ cm}^4$$

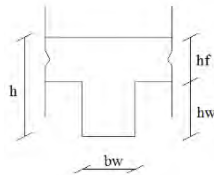
Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{37902,66 \text{ cm}^4}{3240 \text{ cm}^4} = 11,698$$

*(Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG CHARLES
G.SALMON 16.4.2.b)*

Balok B3 AS 4[L-M] (20/30)

Menentukan lebar efektif sayap balok-T



(SNI 03-2847-2013 psl. 13.2.4)

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8hf$$

$$b_{e1} = b_w + 2(h - t)$$

$$= 20 \text{ cm} + 2(30 \text{ cm} - 12 \text{ cm})$$

$$= 56 \text{ cm}$$

$$b_{e2} = b_w + (8 \times t)$$

$$= 20 \text{ cm} + (8 \times 12 \text{ cm})$$

$$= 116 \text{ cm}$$

(SNI 03-2847-2013 psl. 13.2.4)

Pilih nilai terkecil antara b_{e1} dan b_{e2}

$$b_e = 56 \text{ cm}$$

Faktor modifikasi

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{56 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{12 \text{ cm}}{30 \text{ cm}}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12 \text{ cm}}{30 \text{ cm}}\right) + 4\left(\frac{12 \text{ cm}}{30 \text{ cm}}\right)^2 + \left(\frac{56 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{12 \text{ cm}}{30 \text{ cm}}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{56 \text{ cm}}{20 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{12 \text{ cm}}{30 \text{ cm}}\right)}$$

$$K = 1,567$$

Momen inersia penampang – T

$$I_b = k \times b_w \times \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,567 \times 20\text{cm} \times \left(\frac{30\text{cm}}{12\text{cm}}\right)^3$$

$$I_b = 70528,186 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 0,5(300\text{cm} + 200\text{cm}) \times \frac{(12\text{cm})^3}{12}$$

$$I_p = 3600 \text{ cm}^4$$

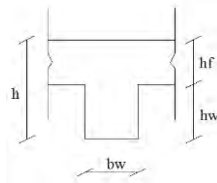
Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{70528,186 \text{ cm}^4}{3600 \text{ cm}^4} = 23,68$$

*(Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG CHARLES
G.SALMON 16.4.2.b)*

Balok B1 AS L [4-7]=Balok B1 AS M[4-7] (45/65)

Menentukan lebar efektif sayap balok-T



(SNI 03-2847-2013 psl. 13.2.4)

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8hf$$

$$b_e = b_w + 2(h - t)$$

$$= 45\text{cm} + 2(65\text{cm} - 12\text{cm})$$

$$= 151 \text{ cm}$$

$$b_{e2} = b_w + (8 \times t)$$

$$= 45\text{cm} + (8 \times 12\text{cm})$$

$$= 141 \text{ cm}$$

(SNI 03-2847-2013 psl. 13.2.4)

Pilih nilai terkecil antara b_{e1} dan b_{e2}

$$b_e = 141 \text{ cm}$$

Faktor modifikasi

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{141 \text{ cm}}{45 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{12 \text{ cm}}{65 \text{ cm}}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12 \text{ cm}}{65 \text{ cm}}\right) + 4\left(\frac{12 \text{ cm}}{65 \text{ cm}}\right)^2 + \left(\frac{141 \text{ cm}}{45 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{12 \text{ cm}}{65 \text{ cm}}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{141 \text{ cm}}{45 \text{ cm}} - 1\right) \times \left(\frac{12 \text{ cm}}{65 \text{ cm}}\right)}$$

$$K = 1,58$$

Momen inersia penampang – T

$$I_b = K \times b_w \times \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,58 \times 45 \text{ cm} \times \left(\frac{65 \text{ cm}}{12 \text{ cm}}\right)^3$$

$$I_b = 1624070,399 \text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 0,5(650 \text{ cm} + 450 \text{ cm}) \times \frac{(12 \text{ cm})^3}{12}$$

$$I_p = 7920 \text{ cm}^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1624070,399 \text{ cm}^4}{7920 \text{ cm}^4} = 205,06$$

**(Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG CHARLES
G.SALMON 16.4.2.b)**

∴ Dari keempat balok di atas didapatkan rata-rata :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} = 110,35 > 2$$

(SNI 03-2847-2013 psl. 9.5.3.3(c))

$$t = \frac{\ln \times (0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \geq 90 \text{ mm}$$

$$t = \frac{450 \times (0,8 + \frac{420}{1400})}{36 + 9(1,045)} = 109,02 \text{ mm} \geq 90 \text{ mm}$$

Maka digunakan $t=120 \text{ mm}$

b. Pembebanan Pelat Atap

1.) Beban Mati

Berat sendiri pelat	= 288 kg/m ²
Aspal 3 cm	= 14 kg/m ²
Plafon + penggantung	= 18 kg/m ²
Plumbing	= 25 kg/m ²
Instalasi listrik	= 40 kg/m ²
$q_D \text{ total}$	= 385 kg/m ²

2.) Beban Hidup

$$\text{Beban Hidup Pekerja} = 100 \text{ kg/m}^2$$

3.) Beban ultimate rencana

$$\begin{aligned} q_{ultimate} &= 1,2 q_D \text{ total} + 1,6 q_L \\ &= (1,2 \cdot 385 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \cdot 100 \text{ kg/m}^2) \\ &= 622 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Tulangan Pelat Atap

Data Perencanaan:

$$\text{Tipe Pelat} = \text{P3}$$

$$L_x = 3 \text{ m}$$

$$L_y = 4,5 \text{ m}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa} = 300 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa} = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\beta_1 = 0,85 \text{ (SNI 2847, pasal 10.2.7.3)}$$

$$b = 1000 \text{ mm} = 1 \text{ m}$$

$$h = 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m}$$

$$\rho_{susut} = 0,0018 \text{ (SNI 2847, Pasal 7.12.2.1)}$$

$$d_x = 95 \text{ mm} = 0,095 \text{ m}$$

$$d_y = 85 \text{ mm} = 0,085 \text{ m}$$

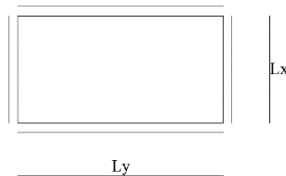
$$\phi_{tul.lentur} = 10 \text{ mm} = 0,01 \text{ m}$$

$$\phi_{tul.susut} = 8 \text{ mm} = 0,008 \text{ m}$$

$$decking = 20 \text{ mm} = 0,02 \text{ m}$$

(SNI 2847:2013, Pasal 7.7.1(c))

Asumsi jenis pelat : jepit elastis, agar masih memungkinkan adanya torsi.



$$\frac{L_y}{L_x} < 2$$

$$\frac{4,5 \text{ m}}{3 \text{ m}} < 2$$

$$1,5 < 2$$

sehingga termasuk dalam pelat 2 arah

(SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3)

Momen- momen pada pelat atap:

$$\begin{aligned}
 M_{Tumpuan\ Y} &= -0,001 \times q_{lx}^2 \times X \\
 &= -0,001 \times (622\text{kg/m}^2)^2 \times 37 \\
 &= -207,13\text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Lapangan\ Y} &= 0,001 \times q_{lx}^2 \times X \\
 &= 0,001 \times (622\text{kg/m}^2)^2 \times 37 \\
 &= 207,126\text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Tumpuan\ X} &= -0,001 \times q_{lx}^2 \times X \\
 &= -0,001 \times (622\text{kg/m}^2)^2 \times 56 \\
 &= -313,49\text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{Lapangan\ X} &= 0,001 \times q_{lx}^2 \times X \\
 &= 0,001 \times (622\text{kg/m}^2)^2 \times 56 \\
 &= 313,49\text{ kgm}
 \end{aligned}$$

(PBBI 1971 Tabel 13.3.1)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{420\text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30\text{ N/mm}^2} = 16,471$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420\text{ N/mm}^2} = 0,0033$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30\text{ N/mm}^2}{420\text{ N/mm}^2} \left(\frac{600}{600 + 420\text{ N/mm}^2} \right) = 0,030
 \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 B.8.42)

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,030 = 0,0228$$

Penulangan pada pelat

1.) Arah X

a. Tumpuan X

$$M_u = -313,49\text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{-313,49\text{ kgm}}{0,8}$$

$$= -391,86\text{ kgm} = -3918600\text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd_x^2} = \frac{-3918600\text{ Nmm}}{1000\text{mm} \times (95\text{mm})^2} = -0,4342\text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right)$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1}{16,471} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 16,471 \times 0,4342 \frac{N}{mm^2}}{420 \frac{N}{mm^2}} \right)} \right) \\
 &= 0,001
 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0033 > 0,001 < 0,0228 \text{ (Tidak Memenuhi)}$$

Karena $\rho_{min} > \rho$, maka $\rho = \rho_{min} = 0,0033$

$$\text{Sehingga } A_{s \text{ perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0033 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$$

$$= 316,67 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$S_{max} \leq 2h$$

$$\leq 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$\leq 240 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{316,67 \text{ mm}^2} \\
 &= 247,895 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena $S > S_{max}$ maka digunakan $S_{pakai} < S_{max}$.
 $S_{pakai} = 200 \text{ mm}$.

Dengan $A_{s \text{ perlu}} = 316,67 \text{ mm}^2$, dipakai tulangan $\emptyset 10$

Sehingga, tulangan pakai = $\emptyset 10 - 200$

dengan $A_{s\ ada} = 392,7\ mm^2$

$$A_{s\ perlu} < A_{s\ ada}$$

$$316,67\ mm^2 < 392,7\ mm^2 \quad (\text{Oke})$$

b. Lapangan X

$$M_u = 313,49\ kgm$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{313,49\ kgm}{0,8}$$

$$= 391.86\ kgm = 3918600\ Nmm$$

$$R_n = \frac{M_n}{bdx^2} = \frac{3918600\ Nmm}{1000mm \times (95mm)^2} = 0,4342\ N/mm^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right)$$

$$= \frac{1}{16,471} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 16,471 \times 0,4342 \frac{N}{mm^2}}{420 \frac{N}{mm^2}} \right)} \right)$$

$$= 0,001$$

Cek persyaratan:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0033 > 0,001 < 0,0228 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Karena $\rho_{min} > \rho$, maka $\rho = \rho_{min} = 0,0033$

Sehingga $A_{s\ perlu} = \rho \times b \times d$

$$= 0,0033 \times 1000mm \times 95mm$$

$$= 316,67mm^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$S_{max} \leq 2h$$

$$\leq 2 \times 120mm$$

$$\leq 240mm$$

Dipakai tulangan $\phi 10$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\frac{1}{4} \pi d^2 b}{A_{s \text{ perlu}}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \pi (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{316,67 \text{ mm}^2} \\
 &= 247,895 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena $S > S_{\max}$ maka digunakan $S_{\text{pakai}} < S_{\max}$.
 $S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$.

Dengan $A_{s \text{ perlu}} = 316,67 \text{ mm}^2$, dipakai tulangan $\phi 10$

Sehingga, tulangan pakai = $\phi 10 - 200$

dengan $A_{s \text{ ada}} = 392,7 \text{ mm}^2$

$$A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ ada}}$$

$$316,67 \text{ mm}^2 < 392,7 \text{ mm}^2 \quad (\text{Oke})$$

2.) Arah Y

a. **Tumpuan Y= Lapangan Y**

$$M_u = 207,13 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{207,13 \text{ kgm}}{0,8}$$

$$= 258,9075 \text{ kgm} = 2589075 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d_x^2} = \frac{2589075 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2} = 0,2869 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m R_n}{f_y} \right)} \right)$$

$$= \frac{1}{16,4706} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 16,4706 \times 0,2869 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}{420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right)$$

$$= 0,0007$$

Cek persyaratan:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0033 > 0,0007 < 0,0228 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Karena $\rho_{min} > \rho$, maka $\rho = \rho_{min} = 0,0033$

$$\text{Sehingga } A_{s \text{ perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0033 \times 1000\text{mm} \times 95\text{mm}$$

$$= 316,67\text{mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned} S_{max} &\leq 2h \\ &\leq 2 \times 120\text{mm} \\ &\leq 240\text{mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan $\phi 10$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{316,67 \text{ mm}^2} \\ &= 247,895 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena $S > S_{max}$ maka digunakan $S_{pakai} < S_{max}$.
 $S_{pakai} = 200 \text{ mm}$.

Dengan $A_{s \text{ perlu}} = 316,67 \text{ mm}^2$, dipakai tulangan $\phi 10$

$\therefore \text{sehingga, tulangan pakai} = \phi 10 - 200$

dengan $A_s = 392,7 \text{ mm}^2$

$$A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ ada}}$$

$$316,67 \text{ mm}^2 < 392,7 \text{ mm}^2 \quad (\text{Oke})$$

Tulangan Susut

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420 dipakai $\rho_{susut} = 0,0018$.

$$A_{s \text{ susut perlu}} = \rho_{susut} \times h \times b$$

$$= 0,0018 \times 120 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm}$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

$$S_{max} \leq 5h \text{ atau } S_{max} \leq 450 \text{ mm}$$

(SNI 2847 Pasal 7.12.2.2)

$$S_{max} = 5 \times 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan Ø8

$$S = \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ susut}}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{216 \text{ mm}^2}$$

$$= 232,59 \text{ mm}$$

$$S = 232,59 \text{ mm} < S_{max} = 450 \text{ mm} \rightarrow S_{pakai} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø8 – 200 mm

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{\frac{1}{4} \pi (8 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{200 \text{ mm}}$$

$$= 251,2 \text{ mm}^2 > A_{s \text{ susut}} = 216 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

Gambar 4-0-1 Tulangan Pelat P3

2. Perhitungan Pelat Lantai

Dimensi dari preliminary design digunakan dalam tahap perhitungan berat sendiri (self weight) dalam tahap pembebanan sehingga didapatkan gaya-gaya dalam untuk design penulangan.

a. Perencanaan Dimensi Pelat Lantai

Berikut ini adalah perhitungan tebal plat lantai sesuai SNI 2847- 2013 Pasal 9.5.

Data-data perencanaan :

Tipe pelat	: P1
Kuat tekan beton (f_c')	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan (f_y)	: 420 Mpa
Rencana tebal pelat	: 12 cm
Bentang pelat sumbu panjang (L_y)	: 450 cm
Bentang pelat sumbu pendek (L_x)	: 350 cm
Balok B5	: 20/25 cm
Balok B3	: 20/25 cm
Balok B1	: 45/65 cm
Balok B1	: 45/65 cm

Bentang bersih pelat sumbu panjang :

$$L_n = L_y - \left[\frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2} \right]$$

$$L_n = 450 \text{ cm} - \left[\frac{20 \text{ cm}}{2} - \frac{20 \text{ cm}}{2} \right]$$

$$L_n = 450 \text{ cm} \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3.3})$$

Bentang bersih pelat sumbu pendek :

$$S_n = L_x - \left[\frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2} \right]$$

$$S_n = 350 \text{ cm} - \left[\frac{45 \text{ cm}}{2} - \frac{45 \text{ cm}}{2} \right]$$

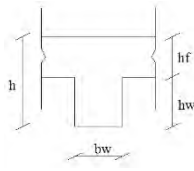
$$S_n = 350 \text{ cm}$$

Rasio antara bentang bersih sumbu panjang terhadap bentang bersih sumbu pendek,

$$\beta_n = \frac{L_n}{S_n} = \frac{450 \text{ cm}}{350 \text{ cm}} = 1,3 < 2 \quad \text{Two way slab (pelat dua arah)}$$

Balok B5 AS 7[L-M]=Balok B5 AS 4[L-M] (20/25)

Menentukan lebar efektif sayap balok-T



(SNI 03-2847-2013 psl. 13.2.4)

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8h_f$$

$$\begin{aligned} b_{e1} &= b_w + 2(h - t) & b_{e2} &= b_w + (8 \times t) \\ &= 20\text{cm} + 2(25\text{cm} - 12\text{cm}) & &= 20\text{cm} + (8 \times 12\text{cm}) \\ &= 46\text{ cm} & &= 116\text{ cm} \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 psl. 13.2.4)

Pilih nilai terkecil antara b_{e1} dan b_{e2}

$$b_e = 46\text{ cm}$$

Faktor modifikasi

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{46\text{cm}}{20\text{cm}} - 1\right) \times \left(\frac{12\text{cm}}{25\text{cm}}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12\text{cm}}{25\text{cm}}\right) + 4\left(\frac{12\text{cm}}{25\text{cm}}\right)^2 + \left(\frac{46\text{cm}}{20\text{cm}} - 1\right) \times \left(\frac{12\text{cm}}{25\text{cm}}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{46\text{cm}}{20\text{cm}} - 1\right) \times \left(\frac{12\text{cm}}{25\text{cm}}\right)}$$

$$K = 1,455$$

Momen inersia penampang – T

$$I_b = K \times b_w \times \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,455 \times 20\text{cm} \times \left(\frac{25\text{cm}}{12\text{cm}}\right)^3$$

$$I_b = 37902,66\text{ cm}^4$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 0,5(250\text{cm} + 200\text{cm}) \times \frac{(12\text{cm})^3}{12}$$

$$I_p = 3240 \text{ cm}^4$$

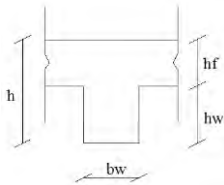
Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{37902,66\text{cm}^4}{3240\text{cm}^4} = 11,698$$

*(Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG CHARLES
G.SALMON 16.4.2.b)*

Balok B1 AS L [4-7]=Balok B1 AS M[4-7] (45/65)

Menentukan lebar efektif sayap balok-T



(SNI 03-2847-2013 psl. 13.2.4)

$$b_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8h_f$$

$$b_e = b_w + 2(h - t)$$

$$= 45\text{cm} + 2(65\text{cm} - 12\text{cm})$$

$$= 151 \text{ cm}$$

$$b_{e2} = b_w + (8 \times t)$$

$$= 45\text{cm} + (8 \times 12)\text{cm}$$

$$= 141 \text{ cm}$$

(SNI 03-2847-2013 psl. 13.2.4)

Pilih nilai terkecil antara b_{e1} dan b_{e2}

$$b_e = 141 \text{ cm}$$

Faktor modifikasi

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{h_f}{h}\right) + 4 \left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{141cm}{45cm} - 1\right) \times \left(\frac{12cm}{65cm}\right) \times \left[4 - 6 \left(\frac{12cm}{65cm}\right) + 4 \left(\frac{12cm}{65cm}\right)^2 + \left(\frac{141cm}{45cm} - 1\right) \times \left(\frac{12cm}{65cm}\right)^3 \right]}{1 + \left(\frac{141cm}{45cm} - 1\right) \times \left(\frac{12cm}{65cm}\right)}$$

$$K = 1,58$$

Momen inersia penampang – T

$$I_b = K \times b_w \times \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,58 \times 45cm \times \left(\frac{65cm}{12cm}\right)^3$$

$$I_b = 1624070,399 cm^4$$

Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 0,5(650cm + 450cm) \times \frac{(12cm)^3}{12}$$

$$I_p = 7920 cm^4$$

Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p} = \frac{1624070,399cm^4}{7920cm^4} = 205,06$$

*(Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG CHARLES
G.SALMON 16.4.2.b)*

∴ Dari keempat balok di atas didapatkan rata-rata :

$$\alpha_m = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4} = 108,38 > 2$$

(SNI 03-2847-2013 psl. 9.5.3.3(c))

$$t = \frac{\ln \times (0,8 + \frac{f_y}{1400})}{36 + 9\beta} \geq 90 \text{ mm}$$

$$t = \frac{450 \times (0,8 + \frac{420}{1400})}{36 + 9(1,045)} = 109,02 \text{ mm} \geq 90 \text{ mm}$$

Maka digunakan $t=120 \text{ mm}$

b. Pembebanan Pelat Lantai

1.) Beban Mati

Berat sendiri pelat	= 288 kg/m ²
Spesi $t=2 \text{ cm}$	= 42 kg/m ²
Keramik $t= 1 \text{ cm}$	= 24 kg/m ²
Plafon + penggantung	= 18 kg/m ²
Plumbing	= 25 kg/m ²
Instalasi listrik	= <u>40 kg/m²</u>
$q_D \text{ total}$	= 437 kg/m ²

2.) Beban Hidup

$$\text{Beban Hidup Sekolah} = 250 \text{ kg/m}^2$$

3.) Beban ultimate rencana

$$\begin{aligned} q_{ultimate} &= 1,2 q_D \text{ total} + 1,6 q_L \\ &= (1,2 \cdot 437 \text{ kg/m}^2) + (1,6 \cdot 250 \text{ kg/m}^2) \\ &= 924,4 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

c. Perhitungan Tulangan Pelat Lantai

Data Perencanaan:

Tipe Pelat = P1

$$L_x = 3,5 \text{ m}$$

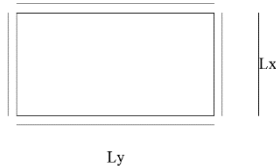
$$L_y = 4,5 \text{ m}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 420 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= 0,85 \text{ (SNI 2847, pasal 10.2.7.3)} \\
 b &= 1000 \text{ mm} = 1 \text{ m} \\
 h &= 120 \text{ mm} = 0,12 \text{ m} \\
 \rho_{susut} &= 0,0018 \text{ (SNI 2847, Pasal 7.12.2.1)} \\
 d_x &= 95 \text{ mm} = 0,095 \text{ m} \\
 d_y &= 85 \text{ mm} = 0,085 \text{ m} \\
 \phi_{tul. lentur} &= 12 \text{ mm} = 0,012 \text{ m} \\
 \phi_{tul. susut} &= 8 \text{ mm} = 0,008 \text{ m} \\
 decking &= 20 \text{ mm} = 0,02 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Asumsi jenis pelat : jepit elastis, agar masih memungkinkan adanya torsi.

$$\begin{aligned}
 \frac{L_y}{L_x} &< 2 \\
 \frac{4,5 \text{ m}}{3,5 \text{ m}} &< 2 \\
 1,3 &< 2
 \end{aligned}$$


sehingga termasuk dalam pelat 2 arah

(SNI 2847:2013 Pasal 9.5.3)

Momen- momen pada pelat:

$$\begin{aligned}
 M_{Lapangan X} &= 0,001 \times q_{lx}^2 \times X \\
 &= 0,001 \times (924,4 \text{ kg/m}^2)^2 \times 50 \\
 &= 566,195 \text{ kgm} \\
 M_{Tumpuan X} &= -0,001 \times q_{lx}^2 \times X \\
 &= -0,001 \times (924,4 \text{ kg/m}^2)^2 \times 50 \\
 &= -566,195 \text{ kgm} \\
 M_{Tumpuan Y} &= -0,001 \times q_{ly}^2 \times X \\
 &= 0,001 \times (924,4 \text{ kg/m}^2)^2 \times 38
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 430,308 \text{ kgm} \\
 M_{Lapangan Y} &= 0,001 \times q_{lx}^2 \times X \\
 &= 0,001 \times (924,4 \text{ kg/m}^2)^2 \times 38 \\
 &= 430,308 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

(PBBI 1971 Tabel 13.3.1)

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{420 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 16,471 \\
 \rho_{min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420 \text{ N/mm}^2} = 0,0033 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c' \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \left(\frac{600}{600 + 420 \text{ N/mm}^2} \right)}{420 \text{ N/mm}^2} = 0,030
 \end{aligned}$$

(SNI 2847:2013 B.8.42)

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b = 0,75 \times 0,030 = 0,0228$$

Penulangan pada pelat

1.) Arah X

a. Tumpuan X

$$\begin{aligned}
 M_u &= -566,195 \text{ kgm} \\
 M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{-566,195 \text{ kgm}}{0,8} \\
 &= -707,7438 \text{ kgm} = -7077438 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{b d_x^2} = \frac{-7077438 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2} = -0,7842 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{16,471} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 16,471 \times (-0,7842 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})}{420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right) \\
 &= 0,0018
 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0033 > 0,0018 < 0,0228 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Karena $\rho_{min} > \rho$, maka $\rho = \rho_{min} = 0,0033$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga } A_{s \text{ perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0033 \times 1000\text{mm} \times 95\text{mm} \\ &= 316,67\text{mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned} S_{max} &\leq 2h \\ &\leq 2 \times 120\text{mm} \\ &\leq 240\text{mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan $\emptyset 10$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{316,67 \text{ mm}^2} \\ &= 357,15 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena $S > S_{max}$ maka digunakan $S_{pakai} < S_{max}$.
 $S_{pakai} = 200 \text{ mm}$.

Dengan $A_{s \text{ perlu}} = 316,67 \text{ mm}^2$, dipakai tulangan $\emptyset 12$

Sehingga, tulangan pakai = $\emptyset 12 - 200$

dengan $A_{s \text{ ada}} = 565,49 \text{ mm}^2$

$$A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ ada}}$$

$$316,67 \text{ mm}^2 < 565,49 \text{ mm}^2 \quad (\text{Oke})$$

b. Lapangan X

$$\begin{aligned} M_u &= 566,195 \text{ kgm} \\ M_n &= \frac{M_u}{\phi} = \frac{566,195 \text{ kgm}}{0,8} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= 707,7438 \text{ kgm} = 7077438 \text{ Nmm} \\
 R_n &= \frac{M_n}{bd_x^2} = \frac{7077438 \text{ Nmm}}{1000\text{mm} \times (95\text{mm})^2} = 0,7842 \text{ N/mm}^2 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\
 &= \frac{1}{16,471} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 16,471 \times (0,7842 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})}{420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right) \\
 &= 0,0018
 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &< \rho < \rho_{max} \\
 0,0033 &> 0,0018 < 0,0228 \quad (\text{Tidak Memenuhi})
 \end{aligned}$$

Karena $\rho_{min} > \rho$, maka $\rho = \rho_{min} = 0,0033$

$$\begin{aligned}
 \text{Sehingga } A_{s \text{ perlu}} &= \rho \times b \times d \\
 &= 0,0033 \times 1000\text{mm} \times 95\text{mm} \\
 &= 316,67\text{mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned}
 S_{max} &\leq 2h \\
 &\leq 2 \times 120\text{mm} \\
 &\leq 240\text{mm}
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan $\phi 10$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{316,67 \text{ mm}^2} \\
 &= 357,15 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena $S > S_{max}$ maka digunakan $S_{pakai} < S_{max}$.
 $S_{pakai} = 200 \text{ mm}$.

Dengan $A_{s \text{ perlu}} = 316,67 \text{ mm}^2$, dipakai tulangan $\phi 12$

Sehingga, tulangan pakai = $\emptyset 12 - 200$

dengan $A_{s\text{ ada}} = 565,49 \text{ mm}^2$

$$A_{s\text{ perlu}} < A_{s\text{ ada}}$$

$$316,67 \text{ mm}^2 < 565,49 \text{ mm}^2 \quad (\text{Oke})$$

2.) Arah Y

a. Tumpuan Y

$$M_u = -430,31 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{-430,31 \text{ kgm}}{0,8}$$

$$= -537,8853 \text{ kgm}$$

$$= -5378853 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd_x^2} = \frac{-5378853 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2} = -0,596 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right)$$

$$= \frac{1}{16,471} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 16,471 \times (-0,596 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2})}{420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right)$$

$$= 0,0014$$

Cek persyaratan:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0033 > 0,0014 < 0,0228 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Karena $\rho_{\min} > \rho$, maka $\rho = \rho_{\min} = 0,0033$

$$\text{Sehingga } A_{s\text{ perlu}} = \rho \times b \times d$$

$$= 0,0033 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}$$

$$= 316,67 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$S_{\max} \leq 2h$$

$$\leq 2 \times 120 \text{ mm}$$

$$\leq 240\text{mm}$$

Dipakai tulangan $\phi 10$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{316,67 \text{ mm}^2} \\ &= 357,15 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena $S > S_{\max}$ maka digunakan $S_{\text{pakai}} < S_{\max}$.
 $S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$.

Dengan $A_{s \text{ perlu}} = 316,67 \text{ mm}^2$, dipakai tulangan $\phi 12$

Sehingga, tulangan pakai = $\phi 12 - 200$

dengan $A_{s \text{ ada}} = 565,49 \text{ mm}^2$

$$A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ ada}}$$

$$316,67 \text{ mm}^2 < 565,49 \text{ mm}^2 \quad (\text{Oke})$$

b. Lapangan Y

$$M_u = 430,31 \text{ kgm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{430,31 \text{ kgm}}{0,8} = 537,8853 \text{ kgm} = 5378853 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d_x^2} = \frac{5378853 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \times (95 \text{ mm})^2} = 0,596 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2m \cdot R_n}{f_y} \right)} \right) \\ &= \frac{1}{16,471} \left(1 - \sqrt{1 - \left(\frac{2 \times 16,471 \times \left(0,596 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right)}{420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \right)} \right) \\ &= 0,0014 \end{aligned}$$

Cek persyaratan:

$$\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0033 > 0,0014 < 0,0228 \quad (\text{Tidak Memenuhi})$$

Karena $\rho_{min} > \rho$, maka $\rho = \rho_{min} = 0,0033$

$$\begin{aligned}\text{Sehingga } A_{s \text{ perlu}} &= \rho \times b \times d \\ &= 0,0033 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm} \\ &= 316,67 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan:

$$\begin{aligned}S_{max} &\leq 2h \\ &\leq 2 \times 120 \text{ mm} \\ &\leq 240 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dipakai tulangan $\phi 10$, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}S &= \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{\frac{1}{4} \pi \cdot (12 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{316,67 \text{ mm}^2} \\ &= 357,15 \text{ mm}\end{aligned}$$

Karena $S > S_{max}$ maka digunakan $S_{pakai} < S_{max}$.
 $S_{pakai} = 200 \text{ mm}$.

Dengan $A_{s \text{ perlu}} = 316,67 \text{ mm}^2$, dipakai tulangan $\phi 12$

Sehingga, tulangan pakai = $\phi 12 - 200$

$$\text{dengan } A_{s \text{ ada}} = 565,49 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ perlu}} < A_{s \text{ ada}}$$

$$316,67 \text{ mm}^2 < 565,49 \text{ mm}^2 \quad (\text{Oke})$$

Tulangan Susut

Pelat yang menggunakan batang tulangan ulir atau tulangan kawat las mutu 420 dipakai $\rho_{susut} = 0,0018$.

$$\begin{aligned}A_{s \text{ susut perlu}} &= \rho_{susut} \times h \times b \\ &= 0,0018 \times 120 \text{ mm} \times 1000 \text{ mm} \\ &= 216 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$S_{max} \leq 5h \text{ atau } S_{max} \leq 450 \text{ mm (SNI 2847 Pasal 7.12.2.2)}$$

$$S_{max} = 5 \times 120 \text{ mm} = 600 \text{ mm}$$

Dipakai tulangan Ø8

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{\frac{1}{4}\pi.d^2.b}{A_{s\text{ susut}}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4}\pi.(8\text{ mm})^2.1000\text{ mm}}{216\text{ mm}^2} \\
 &= 232,59\text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = 232,59\text{ mm} < S_{\max} = 450\text{ mm}$$

$$\rightarrow S_{\text{pakai}} = 200\text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø8 – 200 mm

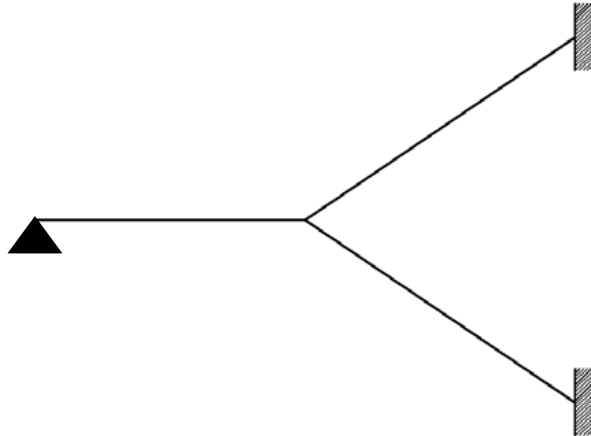
$$\begin{aligned}
 A_{s\text{ pakai}} &= \frac{\frac{1}{4}\pi.d^2.b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{\frac{1}{4}\pi(8\text{ mm})^2.1000\text{ mm}}{200\text{ mm}} \\
 &= 251,2\text{ mm}^2 > A_{s\text{ susut}} = 216\text{ mm}^2 \\
 &\quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Gambar 4-0-2 Tulangan Pelat P1

4.2.2 Perhitungan Tangga

4.2.2.1 Perencanaan Dimensi Tangga

Permodelan struktur tangga ini menggunakan.
Adapun data-data yang di input adalah sebagai berikut:
Perletakan = jepit –sendi – jepit

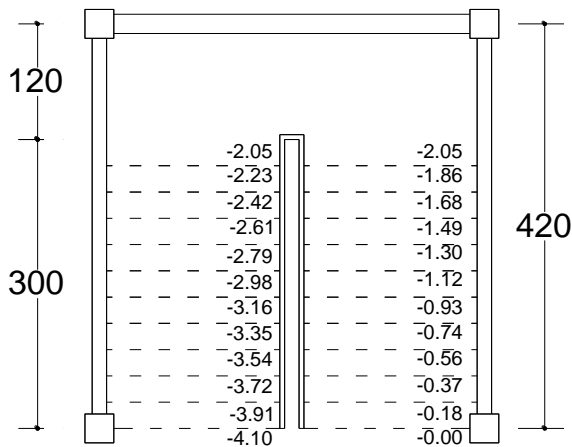


Gambar 4.2.2.1 Mekanika Perencanaan Tangga

Data perencanaan

1.	Mutu Beton	=	30	Mpa
2.	Baja tul. Lentur	=	420	Mpa
3.	tebal rencana plat tangga	=	12	cm
4.	tebal rencana plat bordes	=	12	cm
5.	tinggi tangga	=	410	cm
6.	tinggi bordes (T)	=	205	cm
7.	Panjang datar Tangga (I)	=	300	cm
8.	Panjang bordes	=	120	cm
9.	lebar tangga	=	192,5	cm

Berikut ini adalah gambar denah rencana tangga:



Gambar 4.2.2.2 Denah Rencana Tangga

Direncanakan jumlah injakan (n) = 11

tinggi anak tangga (t) = T/n
 $= 205 \text{ cm}/11$
 $= 18,63636 \text{ cm}$
 $= 19 \text{ cm}$

panjang anak tangga (i) = I/n
 $= 300 \text{ cm}/11$
 $= 27,27273 \text{ cm}$
 $= 27 \text{ cm}$

Sudut kemiringan tangga

$$\alpha = \tan^{-1} (t/i)$$

$$= 34,3461$$

Syarat sudut kemiringan tangga

$$30^\circ \leq \alpha \leq 40^\circ \rightarrow 30^\circ \leq 34,3461 \leq 35^\circ$$

(memenuhi)

Ali Asroni 2010 hal. 235

Syarat jarak satu langkah orang berjalan

$$2t + i = 64,54545^\circ$$

$$60^{\circ} \leq 2t + i \leq 65^{\circ} \rightarrow 60^{\circ} \leq 64,54545 \leq 65^{\circ}$$

(memenuhi)

Ali Asroni 2010 hal.237

4.2.2.2 Pembebanan Tangga

Pembebanan tangga diantaranya meliputi:

1.) Beban Mati

- untuk badan tangga

$$\begin{aligned} \text{plat tangga (12cm)} &= 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 \\ &= 288 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{anak tangga} &= 0,0932 \text{ m} \times 2400 \text{ Kg/m}^3 \\ &= 223,6364 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{spesi 1 cm} &= 2 \times 21 \text{ Kg/m}^2 \\ &= 42 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{keramik} = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{railling} = 10 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{total} &= 587,6364 \text{ kg/m}^2 \\ &= 0,587636 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

- untuk bordes

$$\begin{aligned} \text{plat bordes (12cm)} &= 0,12 \times 2400 \text{ Kg/m}^3 \\ &= 288 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{spesi 1 cm} &= 2 \times 21 \text{ Kg/m}^2 \\ &= 42 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{keramik} = 24 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{railling} = 10 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}\text{total} &= 364 \text{ kg/m}^2 \\ &= 0,364 \text{ ton/m}^2\end{aligned}$$

2.) Beban Hidup

$$\text{Beban Hidup Tangga} = 300 \text{ kg/m}^2$$

3.) Kombinasi Pembebanan

$$\text{Pada badan tangga} : 1,2D + 1,6L = 2281,44 \text{ kg/m}$$

$$\text{Pada bordes} : 1,2D + 1,6L = 3667,2 \text{ kg/m}$$

4.2.2.3 Perhitungan Tulangan Pelat Tangga

Data perencanaan :

$$\text{Mutu beton (fc')} : 30 \text{ Mpa}$$

$$\text{Mutu baja (fy)} : 420 \text{ Mpa}$$

$$\text{Ø tulangan lentur} : 10 \text{ mm}$$

$$\text{Decking} : 20 \text{ mm}$$

$$\beta_1 : 0,8$$

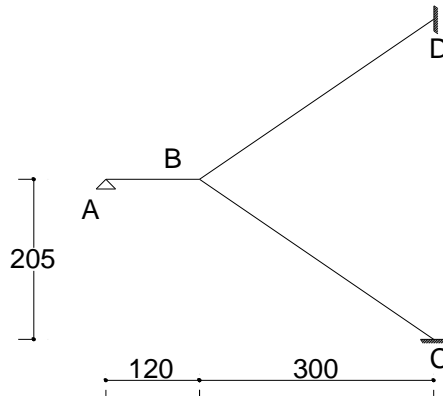
(SNI 2847-2013 pasal 10.2.7.3)

$$\text{Faktor reduksi (\phi)} : 0,75$$

(SNI 2847-2013 pasal 9.3.2.7(a))

$$\text{Tebal plat tangga (t)} : 120 \text{ mm}$$

➤ Perhitungan gaya dalam pada tangga



Gambar 4.2.2.3 Perencanaan Tangga

$$\mu_{BA} : \mu_{BC} = K_{BA} : K_{BC} : K_{BD} = 3EI/1,2 : 4EI/3,6335 : 4EI/3,6335 = 2,5EI : 1,1EI : 1,1EI$$

$$\mu_{BA} = 0,532 \quad \mu_{BC} = 0,234 \quad \mu_{BD} = 0,234$$

Momen primair

$$MF_{BA} = 1/8 q L^2 = 660,10 \text{ kgm}$$

$$MF_{BC} = 1/12 q L^2 = 2510,06 \text{ kgm}$$

$$MF_{CB} = - 1/12 q L^2 = -2510,06 \text{ kgm}$$

$$MF_{BD} = 1/12 q L^2 = 2510,06 \text{ kgm}$$

$$MF_{DB} = - 1/12 q L^2 = -2510,06 \text{ kgm}$$

Titik	B			C	D
Batang	BA	BC	BD	CB	DB
FD	-0,53	-0,23	-0,234	0,00	0,00
MF	660,10	2510,06	2510,06	-2510,06	-2510,06
MD	-3020,29	-1329,96	-1329,96	0,00	0,00
MI	0,00	0,00	0,00	-664,98	-664,98
MD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MD	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MA	-2360,19	1180,095	1180,095	-3175,04	-3175,04

Free body diagram



Batang AB

$$\Sigma M_B = 0 \quad \text{misal } V_A \uparrow$$

$$V_A \cdot L - \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 + M_{B(BA)} = 0$$

$$V_A \cdot 1,2\text{m} - \frac{1}{2} \cdot 3667,2 \text{ kg/m} \cdot (1,2\text{m})^2 + 2360,19 \text{ kgm} = 0$$

$$V_A = 233,49 \text{ kg} \quad \uparrow$$

$$V_B = 4167,15 \text{ kg} \quad \uparrow$$

Batang BD

$$\Sigma M_B = 0 \quad \text{misal } V_B \uparrow$$

$$V_B L - \frac{1}{2} q L^2 + M_{D(BD)} - M_{B(BD)} - 4167,15 L = 0$$

$$V_B 3\text{m} - \frac{1}{2} 2281,44 \text{ kg/m} 3\text{m} 3,6335\text{m} + 2360,19 \text{ kgm} - 1180,095 \text{ kgm} - 4167,15 \text{m} 3\text{m} = 0$$

$$V_B = 7647 \text{ kg} \quad \uparrow$$

$$V_D = 4809,82 \text{ kg} \quad \uparrow$$

Batang BC

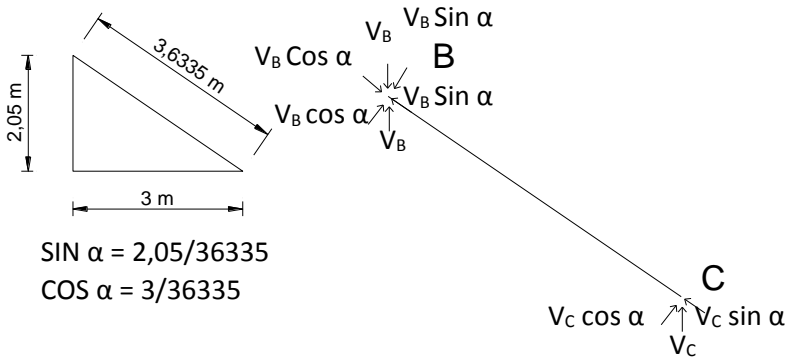
$$\Sigma M_B = 0 \quad \text{misal } V_B \uparrow$$

$$V_B \cdot L - \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 + M_{C(BC)} - M_{B(BC)} - 4167,15 \cdot L = 0$$

$$V_B 3\text{m} - \frac{1}{2} 2281,44 \text{ kg/m} 3\text{m} 3,6335\text{m} + 2360,19 \text{ kgm} - 1180,095 \text{ kgm} - 4167,15 \text{m} 3\text{m} = 0$$

$$V_B = 7647 \text{ kg} \quad \uparrow$$

$$V_D = 4809,82 \text{ kg} \quad \uparrow$$

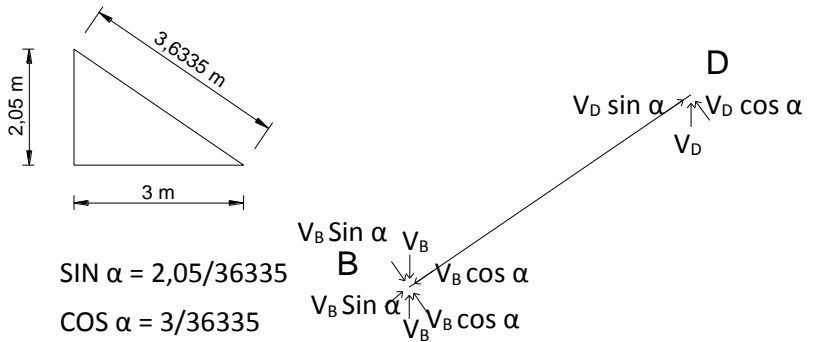


$$\begin{aligned}
 N_{CB} &= -4809,82 \text{ kg} \sin \alpha = -4809,82 \text{ kg} \cdot 2,05/3,6335 \\
 &= -2713,7 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{CB} &= -4809,82 \text{ kg} \cos \alpha = -3028 \text{ kg} \cdot 3/3,6335 \\
 &= -3971,23 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{BC} &= 7647 \text{ kg} \sin \alpha - 4167,15 \cos \alpha \\
 &= 7647 \text{ kg} \cdot 2,05/3,6335 - 4167,15 \cdot 3/3,6335 \\
 &= 873,8 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{BC} &= 7647 \text{ kg} \cos \alpha - 4167,15 \sin \alpha \\
 &= 7647 \text{ kg} \cdot 3/3,6335 - 4167,15 \cdot 2,05/3,6335 \\
 &= 3962,7 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

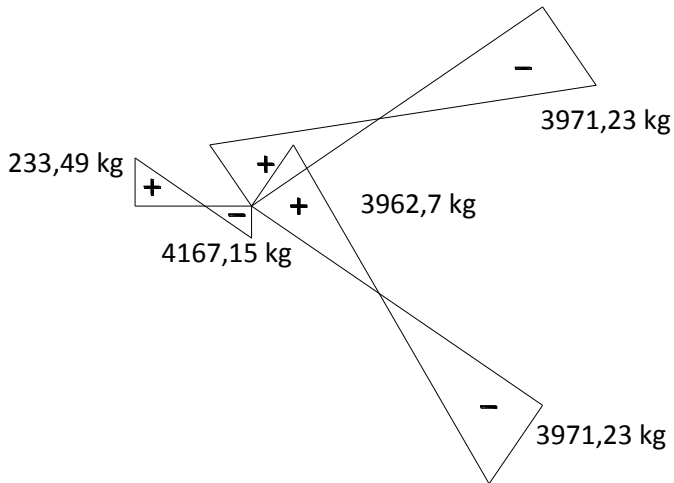


$$\begin{aligned}
 N_{DB} &= -4809,82 \text{ kg} \sin \alpha = -4809,82 \text{ kg} \cdot 2,05/3,6335 \\
 &= -2713,7 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

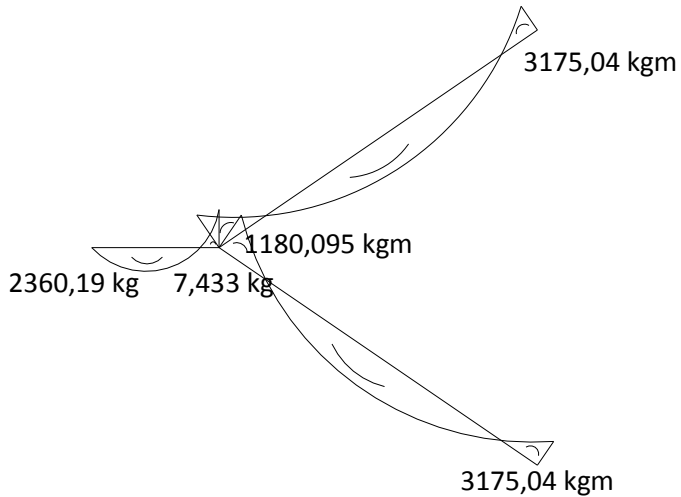
$$\begin{aligned}
 D_{DB} &= -4809,82 \text{ kg} \cos \alpha = -3028 \text{ kg} \cdot 3/3,6335 \\
 &= -3971,23 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{BD} &= 7647 \text{ kg} \sin \alpha - 4167,15 \cos \alpha \\
 &= 7647 \text{ kg} \cdot 2,05/3,6335 - 4167,15 \cdot 3/3,6335 \\
 &= 873,8 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D_{BD} &= 7647 \text{ kg} \cos \alpha - 4167,15 \sin \alpha \\
 &= 7647 \text{ kg} \cdot 3/3,6335 - 4167,15 \cdot 2,05/3,6335 \\
 &= 3962,7 \text{ kg}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.2.2.4 Gaya Lintang



Gambar 4.2.2.5 Momen

Momen Max di AB

$$D_X = 0$$

$$V_A - q \cdot x = 0$$

$$233,49 \text{ kgm} - 3667,2 \text{ kg} \cdot x = 0$$

$$x = 0,1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= V_A \cdot x - \frac{1}{2} q x^2 \\ &= 233,49 \text{ kgm} \cdot 0,1 \text{ m} - \frac{1}{2} 3667,2 \text{ kg} (0,1 \text{ m})^2 \\ &= 7,433 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Momen max di BC

$$D_X = 0$$

$$N_{BC} - q \cdot x = 0$$

$$3962,7 \text{ kgm} - 2281,44 \text{ kg} \cdot x = 0$$

$$x = 1,7 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_{\max} &= N_{BC} \cdot x - \frac{1}{2} q x^2 \\ &= 3962,7 \text{ kgm} \cdot 1,7 \text{ m} - \frac{1}{2} 2281,44 \text{ kg} (1,7 \text{ m})^2 \\ &= 2261,312 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Momen max di BD

$$D_X = 0$$

$$N_{BD} - q \cdot x = 0$$

$$3962,7 \text{ kgm} - 2281,44 \text{ kg} \cdot x = 0$$

$$x = 1,7 \text{ m}$$

$$M_{\max} = N_{BD} \cdot x - \frac{1}{2} q x^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 3962,7 \text{ kgm} \cdot 1,7 \text{ m} - \frac{1}{2} 2281,44 \text{ kg} (1,7\text{m})^2 \\
 &= 2261,312 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Jadi, Momen tumpuan B = 2360,19 kgm

Momen tumpuan C = 3175,04 kgm

Momen tumpuan D = 3175,04 kgm

Momen lapangan bordes = 7,433 kgm

Momen lapangan tangga BC-BD = 2261,31 kgm

Maka diambil momen yang terbesar, yaitu 3175,04 kgm

➤ Perhitungan tulangan plat

$$\begin{aligned}
 d_x &= t - \text{decking} - \frac{1}{2} \text{Øtulangan} \\
 &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - \frac{1}{2} 10 \text{ mm} \\
 &= 95 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_y &= t - \text{decking} - \text{Øtulangan} - \frac{1}{2} \text{Øtulangan} \\
 &= 120 \text{ mm} - 20 \text{ mm} - 10 \text{ mm} - \frac{1}{2} 10 \text{ mm} \\
 &= 85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$A_{Smin} = \frac{1,4 \times bw \times d}{f_y} = \frac{1,4 \times 1000 \text{ mm} \times 95 \text{ mm}}{420} = 316,667 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \rho_b &= \frac{0,85 \beta_{fc'} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right]}{f_y} \\
 &= \frac{0,85 \cdot 0,830 \left[\frac{600}{600 + 420} \right]}{420} = 0,0286
 \end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 pasal B.8.4.3)

$$\rho_{maks} = 0,05 \rho_b = 0,0143$$

(SNI 2847-2013 pasal B.8.4.3)

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 16,47$$

- Penulangan plat tangga

$$M_u = 31752400 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{31752400 \text{ Nmm}}{0,75} = 42336533,33 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{42336533,33 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (95 \text{ mm})^2} = 4,69 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 5,21 \text{ N/mm}^2}{420 \text{ N/mm}^2}} \right) \\ &= 0,0124 < \rho_{\text{maks}} = 0,0143 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0124 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 95 \text{ mm} = 1182,23 \text{ mm}^2 > \\ A_{S_{\text{min}}} &= 316,667 \text{ mm}^2 \\ \text{Jadi, digunakan } A_{S_{\text{perlu}}} &= 1182,23 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq 3 \cdot h \\ &\leq 3 \cdot 120 \text{ mm} \\ &\leq 360 \text{ mm} \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 7.6.4

Dipakai tulangan Ø 10, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{S_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (95 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{1182,23 \text{ mm}^2} \\ &= 66,40 \text{ mm} < S_{\text{max}} = 360 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dengan pembulatan kebawah, maka $S_{\text{pakai}} = 60 \text{ mm}$

Tulangan yang dipakai Ø 10 – 60 mm

$$\begin{aligned}
 A_{Spakai} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{s_{pakai}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10mm)^2 \cdot 1000mm}{60 mm^2} \\
 &= 1308,33 mm^2 > A_{Sperlu} = 1182,23 mm^2 \\
 &\quad \text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Tulangan Pembagi

$$\begin{aligned}
 A_{Sb} &= 0,0018 \cdot b \cdot t \\
 &= 0,0018 \cdot 1000 mm \cdot 120 mm \\
 &= 462 mm^2
 \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 7.12.2.1

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{max} &\leq 5 \cdot h \\
 &\leq 5 \cdot 120 mm \\
 &\leq 600 mm
 \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 7.6.4

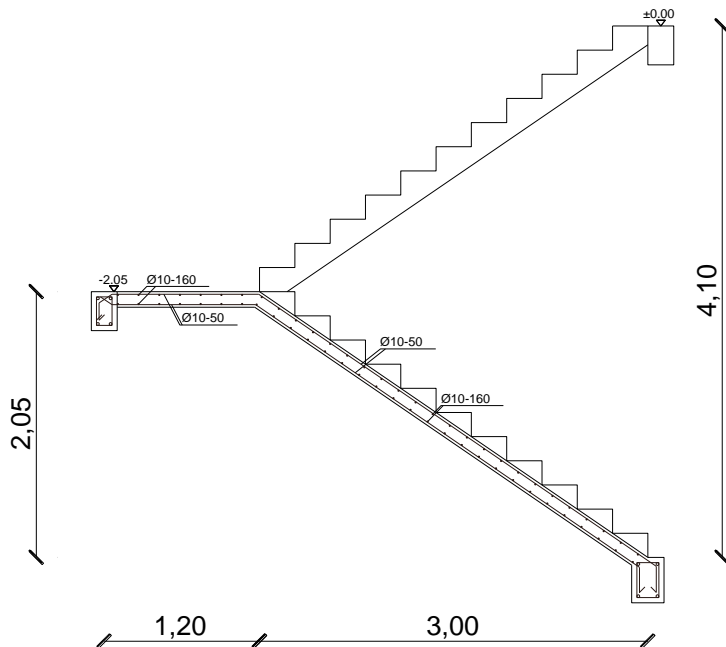
Dipakai tulangan Ø 8 , sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{sbagi}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (8mm)^2 \cdot 1000mm}{462 mm^2} = 169,91 mm \\
 S &= 160 mm < S_{max} = 600 mm
 \end{aligned}$$

Dengan pembulatan kebawah, maka $S_{pakai} = 160 mm$

Jadi tulangan yang dipakai $\varnothing 8 - 160 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 A_{sb_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{s_{\text{pakai}}} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10\text{mm})^2 \cdot 1000\text{mm}}{160 \text{ mm}^2} \\
 &= 490,63 \text{ mm}^2 > A_{sb_{\text{perlu}}} = 462 \text{ mm}^2 \\
 &\quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$



Gambar 4.2.2.6 Penulangan Tangga 4.2.3

4.2.3 Perhitungan Struktur Rangka Atap

Atap sebagai bagian dari struktur bangunan yang berada pada posisi atas harus mampu melindungi komponen struktur lain yang ada dibawahnya dari pengaruh lingkungan yang dapat merusak ketahanan komponen struktur. Bangunan ini akan menggunakan atap dari genteng, profil-profil bahan dari baja dan sambungan-sambungan yang digunakan adalah sambungan baut dan sambungan las.

Untuk perencanaan, perhitungan dan analisa rangka atap akan menggunakan program bantu SAP2000 versi 14.2. Gedung SMA Al Hikmah Surabaya ini akan menggunakan struktur rangka kaku baja.

Data Perencanaan:

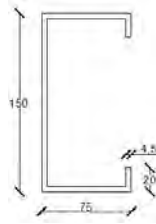
Bahan penutup atap	= Genteng
Berat penutup atap	= 50 kg/m ²
<i>(PPUIG 1983 Tabel 2.1)</i>	
Jenis atap	= Pelana
Profil kuda-kuda	= Baja WF
Profil gording	= Baja LLC 150.50.20.3,2
Mutu baja	= BJ 37 ($\sigma_{ijin} = 1600 \text{ kg/cm}^2$)
Tegangan leleh baja (f_y)	= 240 Mpa
Tegangan putus baja (f_u)	= 370 Mpa
<i>(SNI 03-1729-2002 Tabel 5.3)</i>	
Tegangan baja	= 1600 kg/cm ²
Bentang kuda-kuda	= 7 meter
Jarak antar gording	= 1,25 meter
Penggantung gording	= 2 buah

Sudut atap $= 35^\circ$

4.2.3.1 Perhitungan Profil Gording

Gording adalah balok atap yang berfungsi sebagai pengikat yang menghubungkan antar kuda-kuda. Gording yang akan digunakan adalah profil baja Light Lip Channels (LLC).

Penentuan dimensi gording diambil dari tabel profil konstruksi baja. Perhitungan perencanaan gording menggunakan profil LLC 150.75.20.4,5.

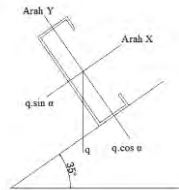


Gambar 4.2.3.1 Profil LLC 150.75.20.4,5

Data profil gording

Tinggi profil (h)	: 150 mm
Lebar profil (b)	: 75 mm
Cekungan	: 20 mm
Tebal profil (t_b)	: 4,5 mm
Berat sendiri	: 11 kg/m
Momen inersia (I_x)	: 489 cm ⁴
Momen inersia (I_y)	: 99,2 cm ⁴
Section modulus (Z_x)	: 65,2 cm ³
Section modulus (Z_y)	: 19,8 cm ³
Section area	: 13,97 cm ²
Radius of gyration (i_x)	: 5,92 cm
Radius of gyration (i_y)	: 2,66 cm
Jarak antar kuda – kuda (s)	: 4,5 m
Jarak antar gording (dg)	: 1,25 m

Pembebanan gording



Gambar 4.2.3.2 Proyeksi Gaya yang Bekerja pada Gording

1. Beban Mati

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Gording} &= 11 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat Atap} &= 62,5 \text{ kg/m} \\
 q_d &= 73,5 \text{ kg/m} \\
 \text{Berat lain-lain (10\%)} &= 7,35 \text{ kg/m} \\
 q_{d \text{ total}} &= 80,9 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Akibat beban mati

$$q = 80,9 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 q_x &= q \times \sin \alpha \\
 &= 80,9 \text{ kg/m} \times \sin 35^\circ \\
 &= 46,37 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= \frac{1}{8} \times 46,37 \text{ kg/m} \times (4,5\text{m})^2 \\
 &= 168 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 q_y &= q \times \cos \alpha \\
 &= 80,9 \text{ kg/m} \times \sin 35^\circ \\
 &= 66,2 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_x &= \frac{1}{8} \times 66,2 \text{ kg/m} \times (2,25\text{m})^2 \\
 &= 29,3 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

2. Beban Hidup

Pekerja

$$P = 100 \text{ kg}$$

Akibat beban hidup

$$P = 100 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} P_x &= 100 \text{ kg} \times \sin \alpha \\ &= 100 \text{ kg} \times \sin 35^\circ \\ &= 57,4 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_y &= \frac{1}{4} \times 57,4 \text{ kg} \times 4,5 \text{ m} \\ &= 64,5 \text{ kgm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_y &= 100 \text{ kg} \times \cos \alpha \\ &= 100 \text{ kg} \times \cos 35^\circ \\ &= 81,9 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_x &= \frac{1}{4} \times 81,9 \text{ kg} \times 2,25 \text{ m} \\ &= 46,1 \text{ kgm} \end{aligned}$$

(PPIUG 1983 PASAL 3.2.(2)b)

Hujan

$$\begin{aligned} W &= 40 - 0,8\alpha < 20 \text{ kg/m}^2 \\ W &= 40 - 0,8 \times 35 < 20 \text{ kg/m}^2 \\ &= 12 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Jadi digunakan $W = 12 \text{ kg/m}^2$

$$qL = W \times dg = 15 \text{ kg/m}$$

$$q_x = qL \sin \alpha = 5,13 \text{ kg/m} \rightarrow P_x = q_x \times s = 23,1 \text{ kg}$$

$$q_y = qL \cos \alpha = 14,1 \text{ kg/m} \rightarrow P_y = q_y \times s = 63,4 \text{ kg}$$

(PPIUG 1938 PASAL 3.2.(2)a)

Jadi beban hidup yang digunakan beban pekerja.

3. Beban Angin

$$\text{Tekanan angin} = 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Arah X} : q_{wx} = 0 \text{ kg}$$

$$\text{Arah Y} :$$

$$\text{Koefisien angin tekan} = 0,02\alpha - 0,4 = 0,3$$

$$\text{Koefisien angin hisap} = -0,4$$

$$q_{wy} = -1,2 \times \frac{25kg}{m^2} \times 1,25m$$

$$= 9,375 \frac{kg}{m} (tekan)$$

$$q_{wy} = -0,4 \times \frac{25kg}{m^2} \times 1,25m$$

$$= -12,5 kg/m (hisap)$$

Momen yang terjadi:

$$\text{Arah Y : } M_y = \frac{1}{8} \times q_{wx} \times L_y^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 0 \times (4,5 m)^2 = 0 kgm$$

$$\text{Arah X : } M_x = \frac{1}{8} \times q_{wy} \times L_x^2$$

$$= \frac{1}{8} \times 9,375 \frac{kg}{m} \times (2,25 m)^2 = 5,93 kgm$$

Mencari momen pada gording

Pada arah sumbu lemah dipasang 1 penggantung gording pada tengah bentang sehingga,

$$L_y = \frac{1}{2} \times \text{jarak antar kuda - kuda} = 2,25 m$$

Kombinasi Beban

Tabel 4.0.4 Kombinasi Pembebanan Gording

Kombinasi Beban	Arah X	Arah Y
1. U = 1,4D $M_x = 1,4 \times M_{Dx}$ $M_y = 1,4 \times M_{Dy}$	41,084 kgm	234,697 kgm
2. U = 1,2D + 1,6L $M_x = 1,2 \times M_{Dx} + 1,6 \times M_{Lx}$ $M_y = 1,2 \times M_{Dy} + 1,6 \times M_{Ly}$	108,939 kgm	304,413 kgm
3. U = 1,2D + 1,3W + 0,5L $M_x = 1,2 \times M_{Dx} + 1,3 \times M_{Wx} + 0,5M_{Lx}$	65,966 kgm	233,433 kgm

$M_y = 1,2 \times M_{Dy} + 1,3 \times M_{Wy} + 0,5M_{Ly}$		
M_{Max}	108,939 kgm	304,413 kgm

Dipilih yang terbesar, sehingga

$$M_{ux} = 108,939 \text{ kgm} = 1089386,782 \text{ Nmm}$$

$$M_{uy} = 304,413 \text{ kgm} = 3044126,535 \text{ Nmm}$$

Cek Kelangsingan Penampang

Cek kelangsingan profil LLC 150.75.20.4,5

$$\text{flens, } \lambda_f = \frac{b}{2.t_f} = \frac{75 \text{ mm}}{2(4,5 \text{ mm})} = 8,33$$

$$\text{web, } \lambda_w = \frac{h}{t_w} = \frac{150 \text{ mm}}{4,5 \text{ mm}} = 33,33$$

Termasuk dalam penampang kompak:

$$\text{flens, } \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,973$$

$$\text{web, } \lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,444$$

(SNI 03-1729-2002 Tabel 7.5-1)

Cek persyaratan:

$$\lambda_f < \lambda_p \quad \rightarrow 8,33 < 10,973 \quad (\text{memenuhi})$$

$$\lambda_w < \lambda_p \quad \rightarrow 33,33 < 108,444 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dapat disimpulkan penampang LLC 150.50.20.3,2 termasuk dalam penampang kompak.

Cek Kekuatan Penampang

Tahanan nominal untuk balok terkekang lateral dengan penampang kompak adalah:

$$M_n = M_p$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.2.3)

$$M_p = Z \times f_y$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.2.1)

Momen nominal penampang

Momen Arah X

$$\begin{aligned} M_{nx} &= Z_x \times f_y \\ &= 75937,5 \text{ mm}^3 \times 420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ &= 18225000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Momen Arah Y

$$\begin{aligned} M_{ny} &= Z_y \times f_y \\ &= 28497,375 \text{ mm}^3 \times 420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \\ &= 4752000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Tahanan balok lentur harus memenuhi persyaratan:

$$\phi_b \cdot M_n > M_u$$

(SNI 03-1729-2002 Pasal 8.1.1)

Cek momen penampang:

Momen Arah X

$$\phi_b \cdot M_{nx} > M_{ux}$$

$$0,9 \times 18225000 \text{ Nmm} > 500656,9 \text{ Nmm}$$

$$16402500 \text{ Nmm} > 904356,7563 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)}$$

Momen Arah Y

$$\phi_b \cdot M_{ny} > M_{uy}$$

$$0,9 \times 47520000 \text{ Nmm} > 3486160 \text{ Nmm}$$

$$42768000 \text{ mm} > 3486160 \text{ Nmm} \quad (\text{memenuhi})$$

Cek Lendutan

Cek lendutan digunakan untuk mengecek apakah lendutan maksimum yang terjadi melebihi batas lendutan maksimum yang diijinkan atau tidak. Batas-batas lendutan untuk keadaan kemampuan layan batas harus sesuai dengan struktur, fungsi penggunaan, sifat pembebanan, serta elemen-elemen yang didukung oleh struktur tersebut.

(SNI 03-1729-2002 Pasal 6.4.3)

Tabel 4.0.5 Batas Lendutan Maksimal

Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor	Beban tetap	Beban sementara
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	$L/360$	-
Balok biasa	$L/240$	-
Kolom dengan analisis orde pertama saja	$h/500$	$h/200$
Kolom dengan analisis orde kedua	$h/300$	$h/200$

.(SNI 03-1729-2002 Tabel 6.4-1)

Digunakan balok biasa sehingga:

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{240} = \frac{450 \text{ cm}}{240} = 1,875 \text{ cm}$$

Besar lendutan arah X (Δ_x)

$$\begin{aligned} \Delta_x &= \frac{5}{384} \times \frac{q_{Dx}(L_x)^4}{E.I_y} + \frac{1}{48} \times \frac{P_x(L_x)^3}{E.I_y} \\ &= \frac{5}{384} \times \frac{0,66 \text{ kg/cm}(225 \text{ cm})^4}{2000000 \text{ kg/cm}^2 \cdot 99,2 \text{ cm}^4} + \frac{1}{48} \times \frac{57,4 \text{ kg}(225 \text{ cm})^3}{2000000 \text{ kg/cm}^2 \cdot 99,2 \text{ cm}^4} \\ &= 0,180 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\Delta_y = \frac{5}{384} \times \frac{q_{Dy}(L_y)^4}{E.I_x} + \frac{1}{48} \times \frac{P_y(L_y)^3}{E.I_x}$$

$$= \frac{5}{384} \times \frac{0,46 \text{ kg/cm}(450\text{cm})^4}{2000000\text{kg/cm}^2 \cdot 489\text{cm}^4} + \frac{1}{48} \times \frac{81,9\text{kg}(450\text{cm})^3}{2000000\text{kg/cm}^2 \cdot 489\text{cm}^4}$$

$$= 0,412 \text{ cm}$$

Untuk mengatasi masalah puntir maka M_{ny} dapat dibagi 2 sehingga:

$$\frac{M_{ux}}{\phi_b \times M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \times M_{ny}/2} \leq 1$$

$$\frac{500656,9 \text{ Nmm}}{0,9 \times 18225000 \text{ Nmm}} + \frac{3486160 \text{ Nmm}}{0,9 \times 47520000 \text{ Nmm}} \leq 1$$

$$0,03 + 0,08 \leq 1$$

$$0,11 \leq 1 \quad (OK)$$

(Sumber: Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD)

4.2.3.2 Perhitungan Penggantung Gording

Penggantung gording dipasang sebagai penguat sumbu lemah. Dalam hal ini sumbu lemah gording adalah sumbu y. Maka dipasang penggantung gording tegak lurus dengan sumbu y.

Pembebanan

Beban Mati

$$\text{Berat sendiri gording} = 11 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat penutup atap } (50 \text{ kg/m}^2 \cdot 1,25\text{m}) = 62,5 \text{ kg/m}$$

$$q_d = 73,5 \text{ kg/m}$$

$$\text{Berat lain-lain } (10\% \cdot q_d) = 7,35 \text{ kg/m}$$

$$q_d \text{ total} = 80,85 \text{ kg/m}$$

$$\text{Arah X, } q_{dx} = q_d \text{ total} \cdot \sin \alpha. \text{ Jarak antar penggantung gording}$$

$$= 80,85 \text{ kg/m} \cdot \sin 35^\circ \cdot 2,25 \text{ m}$$

$$= 104,341 \text{ kg}$$

Beban Hidup

Beban pekerja terpusat $P = 100 \text{ kg}$

(PPUIG 1983 Pasal 3.2.(1))

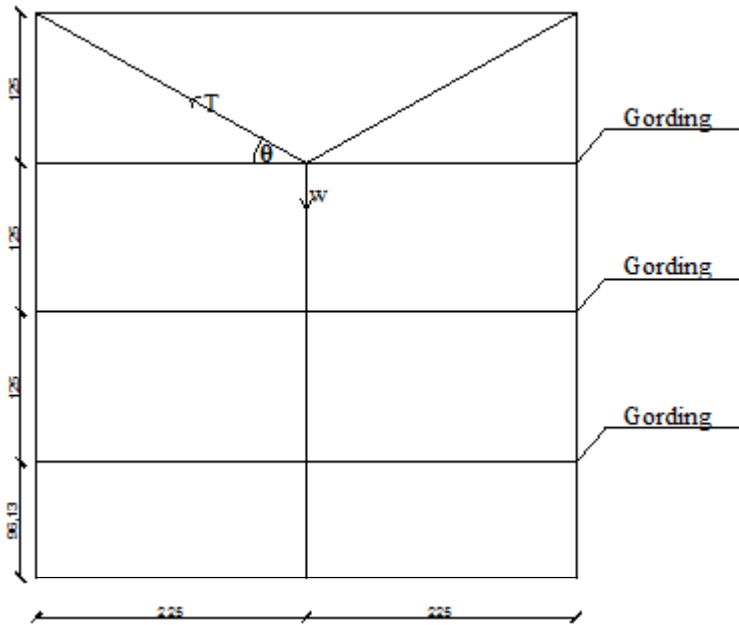
$$\begin{aligned} \text{Arah X, } P_{Lx} &= P \cdot \sin \alpha \\ &= 100 \text{ kg} \cdot \sin 35^\circ \\ &= 57,36 \text{ kg} \end{aligned}$$

Maka beban total tiap 1 gording (w) adalah:

$$\begin{aligned} w &= q_{dx} + P_{Lx} \\ &= 69,56 \text{ kg} + 57,36 \text{ kg} \\ &= 161,698 \text{ kg} \end{aligned}$$

Jumlah gording yang menjadi beban penggantung gording (n) = 3 buah. Maka beban total seluruhnya (w total) adalah:

$$\begin{aligned} w \text{ total} &= w \cdot n \\ &= 161,698 \cdot 3 \\ &= 485,095 \text{ kg} \end{aligned}$$



Gambar 4.2.3.3 Arah Gaya yang Bekerja pada Penggantung Gording

$$\tan \theta = \frac{1,25 \text{ m}}{2,25 \text{ m}}$$

$$\theta = \arctan 0,56$$

$$\theta = 29,05^\circ$$

Perhitungan Gaya Penggantung Gording (T)

$$\sum V = 0$$

$$T \sin \alpha - w = 0$$

$$T = \frac{w}{\sin \theta}$$

$$T = \frac{485,095 \text{ kg}}{0,485}$$

$$T = 999,016 \text{ kg}$$

Penentuan Dimensi

$$\sigma_{ijin} = \frac{T}{A}$$

$$A_{min} = \frac{T}{\sigma_{ijin}}$$

$$A_{min} = \frac{999,016 \text{ kg}}{1600 \text{ kg/cm}^2}$$

$$A_{min} = 0,6244 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$d = \sqrt{\frac{0,6244}{\frac{1}{4} \cdot \pi}}$$

$$d_{pakai} = 0,89 \text{ cm} \approx 1 \text{ cm}$$

$$\text{Syarat } d_{min} = \frac{L}{500} = 0,25 \text{ cm}$$

(PPBBI 1984 Pasal 3.3.(4))

$$d_{pakai} > d_{min}$$

$$1 \text{ cm} > 0,25 \text{ cm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$A_{pakai} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d_{pakai}^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (1 \text{ cm})^2$$

$$= 0,785 \text{ cm}^2$$

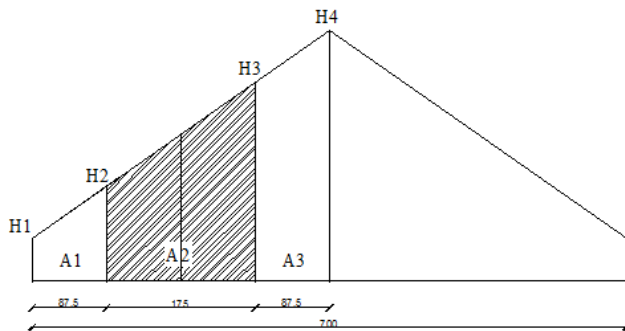
$$A_{pakai} > A_{min}$$

$$0,785\text{cm}^2 > 0,6244\text{cm}^2 \quad (\text{memenuhi})$$

Maka dalam perencanaan struktur atap gedung SMA Al Hikmah Surabaya digunakan penggantung gording dengan dimensi $\varnothing 10 \text{ mm}$.

4.2.3.3 Perhitungan Ikatan Angin

Ikatan angin pada atap berfungsi sebagai penahan beban angin yang sekaligus bertujuan untuk menjaga untuk menjaga kestabilan kuda-kuda. Didalam perhitungan ini ikatan angin akan dihitung kelangsingannya saja karena ikatan angin hanya dianggap sebagai pengaku.



Gambar 4.2.3.4 Bidang Kerja Ikatan Angin

Tinggi Bidang Tinjauan

$$H1 = 0,5 \text{ m (tinggi kolom pendek)}$$

$$H2 = 0,5 \text{ m} + (0,875 \text{ m} \times \tan 35^\circ) = 1,113 \text{ m}$$

$$H3 = 1,113 \text{ m} + (1,75 \text{ m} \times \tan 35^\circ) = 2,338 \text{ m}$$

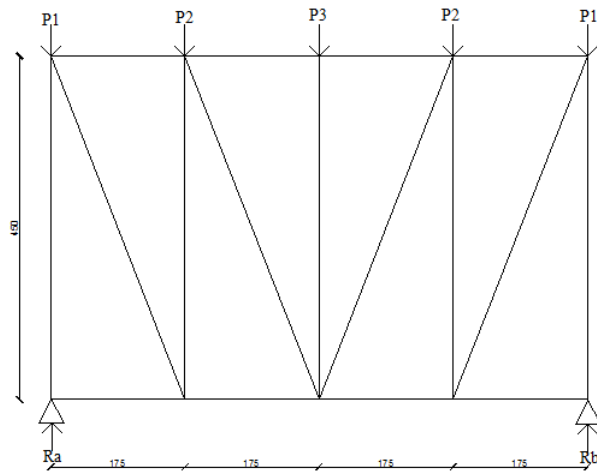
$$H4 = 2,338 \text{ m} + (0,875 \text{ m} \times \tan 35^\circ) = 2,951 \text{ m}$$

Luas Bidang Tinjauan

$$A1 = \frac{0,5m + 1,113m}{2} \times 0,875m = 0,706 m^2$$

$$A2 = \frac{1,113m + 2,338m}{2} \times 1,75m = 3,019 m^2$$

$$A3 = \frac{2,338m + 2,951m}{2} \times 0,875m = 2,314 m^2$$



Gambar 4.2.3.5 Gaya-Gaya pada Ikatan Angin

Perhitungan Pembebanan

$$P = A \times q \times c$$

Dimana:

A = luas bidang tinjauan

q = tekanan angin 25 kg/m^2

c = koefisien angin 0,4

$$P1 = 0,706 m^2 \times 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 0,4 = 7,055 \text{ kg}$$

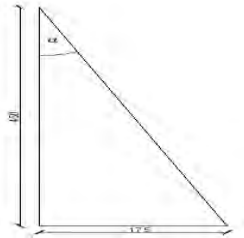
$$P2 = 3,019 m^2 \times 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 0,4 = 30,194 \text{ kg}$$

$$P3 = 2,314 m^2 \times 25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 0,4 = 23,138 \text{ kg}$$

Perhitungan Reaksi Gaya Batang

$$\begin{aligned}
 R_a &= R_b \\
 &= \frac{2P_1 + 2P_2 + P_3}{2} \\
 &= \frac{2 \times 7,055 \text{ kg} + 2 \times 30,194 \text{ kg} + 23,138 \text{ kg}}{2} \\
 &= 48,819 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Sudut Ikatan Angin

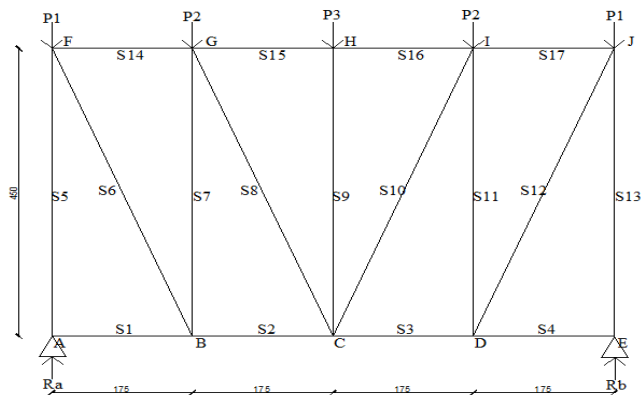


$$\tan \alpha = \frac{175\text{m}}{450\text{m}}$$

$$\alpha = \arctan \frac{175\text{m}}{450\text{m}}$$

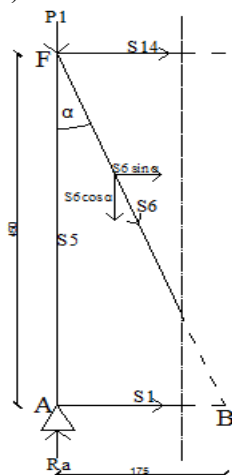
$$\alpha = 21,256^\circ$$

Gaya-Gaya Batang pada Ikatan Angin



Karena struktur simetris sehingga yang dihitung hanya S6, S14, S1, S5, S8, S15, S2, S7, S9.

1.)



- Mencari S6

$$\sum V = 0$$

$$0 = S6 \cos \alpha + P1 -$$

$$R_a$$

$$S6 = \frac{-7,055\text{kg} + 48,819\text{kg}}{\cos 21,256}$$

$$S6 =$$

$$38,922\text{kg (Tarik)}$$

- Mencari S14

$$\sum M_B = 0$$

$$0 = S14 \times 4,5\text{m} -$$

$$P1 \times 1,75\text{m} - R_a \times$$

$$1,75\text{m}$$

$$S14 =$$

$$\frac{7,055\text{kg} \times 1,75\text{m} - 48,819\text{kg} \times 1,75\text{m}}{4,5\text{m}}$$

$$S14 = -16,24\text{kg}$$

$$S14 =$$

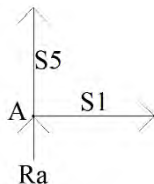
$$16,24\text{kg (Tekan)}$$

- Mencari S1

$$\sum M_F = 0$$

$$S1 = 0$$

2.)



-Mencari S5

$$\sum V = 0$$

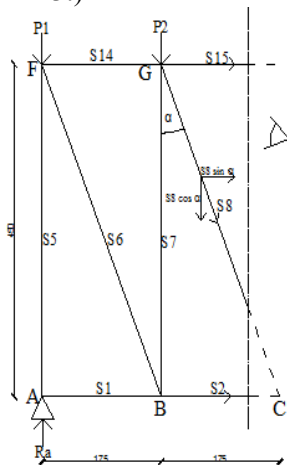
$$0 = S5 + R_a$$

$$S5 = -48,82\text{kg}$$

$$S5 =$$

$$48,82\text{kg (Tekan)}$$

3.)



- Mencari S8

$$\sum V = 0$$

$$0 = S8 \cos \alpha + P1 - R_a + P2$$

$$S8 =$$

$$\frac{-7,055\text{kg} + 48,819\text{kg} - 30,194\text{kg}}{\cos 21,256}$$

$$S8 = 12,414\text{kg (Tekan)}$$

- Mencari S15

$$\sum M_C = 0$$

$$0 = S15 \times 4,5\text{m} - P1 \times$$

$$3,5\text{m} + R_a \times 3,5\text{m} - P2 \times$$

$$1,75\text{m}$$

$$S15 =$$

$$\frac{7,055\text{kg} \times 3,5\text{m} - 48,819\text{kg} \times 3,5\text{m} + 30,194\text{kg} \times 1,75\text{m}}{4,5\text{m}}$$

$$4,5\text{m}$$

$$S15 = -20,74\text{kg}$$

$$S15 = 20,74\text{kg (Tekan)}$$

- Mencari S2

$$\sum M_G = 0$$

$$0 = -S2 \times 4,5\text{m} - P1 \times$$

$$1,75\text{m} + R_a \times 1,75\text{m}$$

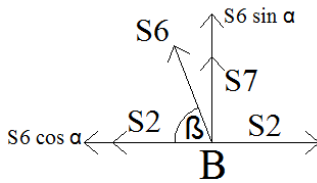
$$S2 =$$

$$\frac{-7,055\text{kg} \times 1,75\text{m} + 48,819\text{kg} \times 1,75\text{m}}{4,5\text{m}}$$

$$4,5\text{m}$$

$$S2 = 16,241\text{kg (Tarik)}$$

4.)



- Mencari S7

$$\beta = 90^\circ - \alpha = 90^\circ - 21,256^\circ = 68,744^\circ$$

$$\sum V = 0$$

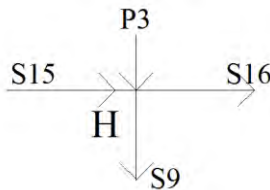
$$0 = S7 + S6 \sin 68,744^\circ$$

$$S7 = -38,922 \text{ kg} \sin 68,744^\circ$$

$$S7 = -36,27 \text{ kg}$$

$$S7 = 36,27 \text{ kg (Tekan)}$$

5.)



-Mencari S9

$$\sum V = 0$$

$$0 = -P3 - S9$$

$$S9 = -23,138 \text{ kg}$$

$$S9 = 23,138 \text{ kg (Tekan)}$$

Tabel 4.0.6 Gaya Batang Ikatan Angin

Batang	Tarik	Tekan
S1	0	0
S2	16,241	
S3	16,241	
S4	0	0
S5		48,819
S6	38,922	
S7		36,274
S8	12,414	
S9		23,138
S10	12,414	

<i>S11</i>		36,274
<i>S12</i>	38,922	
<i>S13</i>		48,819
<i>S14</i>		16,241
<i>S15</i>		20,74
<i>S16</i>		20,74
<i>S17</i>		16,241

Digunakan gaya tarik batang maksimum terletak pada S6 dan S12 yaitu 38,922 kg.

Perhitungan Dimensi Ikatan Angin

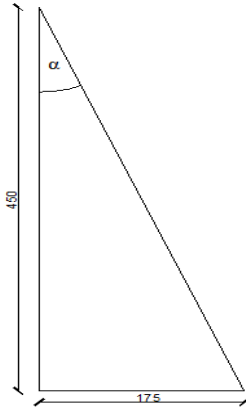
$$A \geq \frac{S_{maks}}{\sigma_{ijin}} = \frac{38,922 \text{ kg}}{1600 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 0,0234 \text{ cm}^2$$

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$d_{rencana} = \sqrt{\frac{A}{1/4\pi}} = \sqrt{\frac{0,0234}{1/4\pi}} = 0,176 \text{ cm} = 1,76 \text{ mm}$$

$$\text{Syarat diameter minimum} = \frac{L}{500}$$

(PPBBI 1984 Pasal 3.3.4)



$$L = \sqrt{(4,5\text{m})^2 + (1,75\text{m})^2}$$

$$= 4,584 \text{ m} = 458,4 \text{ cm}$$

$$d_{\text{minimum}} = \frac{L}{500}$$

$$= \frac{458,4\text{cm}}{500}$$

$$= 0,917\text{cm}$$

$$= 9,17$$

$$\approx 10\text{mm}$$

$$d_{\text{rencana}} > d_{\text{minimum}}$$

$$1,76 \text{ mm} > 10\text{mm} \text{ (tidak memenuhi)}$$

Maka dalam perencanaan struktur atap SMA Al Hikmah Surabaya digunakan ikatan angin dengan dimensi minimum sesuai persyaratan, yakni $\varnothing 10\text{mm}$

4.2.3.4 Perhitungan Kuda-Kuda

Kuda – kuda direncanakan menggunakan rangka kaku dengan profil WF 250.125.9.6, berikut merupakan data perencanaan :

Mutu baja = BJ 37 ($f_u = 370 \text{ MPa}$, $f_y = 240 \text{ MPa}$)

Berat (w) = 29,6 kg/m

Tinggi (d) = 250 mm

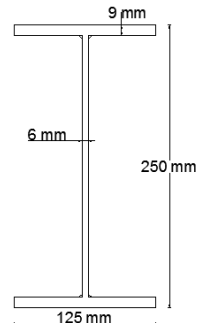
Lebar (b) = 125 mm

Tebal badan (t_w) = 6 mm

Tebal sayap (t_r) = 9 mm

Momen inersia $I_x = 4050 \text{ cm}^4$.

Momen inersia $I_y = 294 \text{ cm}^4$



Section area (A) = 37,66 cm²

Modulus section Z_x = 324 cm³

Modulus section Z_y = 47 cm³

Jari-jari girasi r_x = 10,4 cm

Jari-jari girasi r_y = 2,79 cm

Cek kelangsingan profil

$$\text{Sayap} \rightarrow \lambda = \frac{b}{2t_f} = \frac{125 \text{ mm}}{2 \cdot 9 \text{ mm}} = 6,944$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,97$$

(SNI 03-1729-2002 tabel 7.5-1)

$\lambda < \lambda_p$ (kompak)

(SNI 03-1729-2002 pasal 8.2.3)

$$\text{Badan} \rightarrow \lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{250 \text{ mm}}{6 \text{ mm}} = 41,667$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

(SNI 03-1729-2002 tabel 7.5-1)

$\lambda < \lambda_p$ (kompak)

(SNI 03-1729-2002 pasal 8.2.3)

Cek Kelangsingan Lateral

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$= 1,76 \cdot 27,9 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}}}$$

$$= 1417,51 \text{ mm} < L = 4272,7 \text{ mm}$$

(SNI 03-1729-2002 tabel 8.3-2)

$$\begin{aligned} I_w &= \frac{I_f h_f^2}{2} = \frac{\frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot t_f \cdot (d - t_f)^2}{2} \\ &= \frac{\frac{1}{12} \cdot (125 \text{ mm})^3 \cdot 9 \text{ mm} \cdot (250 \text{ mm} - 9 \text{ mm})^2}{2} \\ &= 4,254 \times 10^{10} \text{ mm}^6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J &= \Sigma \frac{1}{3} b t^3 \\ &= \frac{1}{3} (2 \cdot 125 \text{ mm} \cdot (9 \text{ mm})^3 + (250 \text{ mm} - 9 \text{ mm}) \cdot (6 \text{ mm})^3) \\ &= 78102 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$f_L = f_y - f_r = 240 \text{ MPa} - 70 \text{ MPa} = 170 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{\pi}{Z_x} \sqrt{\frac{E G J A}{2}} \\ &= \frac{\pi}{324 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa} \cdot 80000 \text{ MPa} \cdot 78102 \text{ mm}^4 \cdot 3766 \text{ mm}^2}{2}} \\ &= 14873,77 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_2 &= 4 \left(\frac{Z_x}{G J} \right)^2 \frac{I_w}{I_y} \\ &= 4 \left(\frac{324 \cdot 10^3 \text{ mm}^3}{80000 \text{ MPa} \cdot 78102 \text{ mm}^4} \right)^2 \frac{4,254 \cdot 10^{10} \text{ mm}^6}{294 \cdot 10^4 \text{ mm}^4} \\ &= 1,56 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^4/\text{N}^2 \end{aligned}$$

$$L_r = r_y \left(\frac{X_1}{f_L} \right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 f_L^2}}$$

$$= 27,9 \text{ mm} \left(\frac{14873,77 \text{ MPa}}{170 \text{ MPa}} \right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + 1,56 \cdot 10^{-5} \frac{\text{mm}^4}{N^2(170 \text{ MPa})^2}}}$$

$$= 3624,37 \text{ mm} < L = 4272,7 \text{ mm} \rightarrow (\text{Bentang panjang})$$

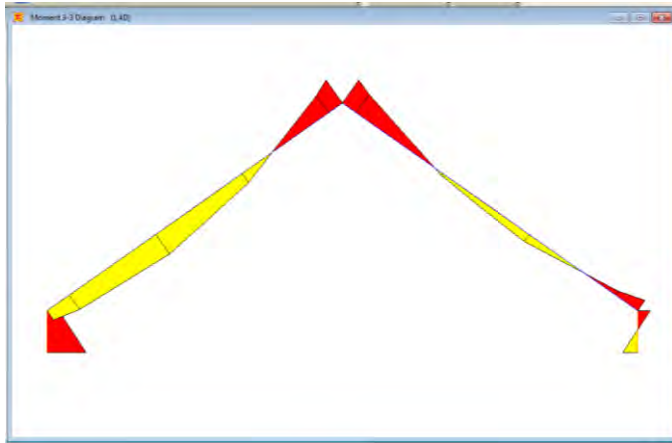
(SNI 03-1729-2002 tabel 8.3-2)

Dari pemodelan SAP2000 didapat gaya sebagai berikut :

Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
1102	2,7	1,2D + 0,5La	Combination	-1980,62	260,7	10,72	-0,18	15,05	230,04
1102	3,95	1,2D + 0,5La	Combination	-2029,82	330,96	10,72	-0,18	1,66	-139,75
1102	3,95	1,2D + 0,5La	Combination	-2245,3	638,13	14,51	0,27	4,04	-140,52
1102	4,2727	1,2D + 0,5La	Combination	-2258	656,26	14,51	0,27	-0,64	-349,37
1103	0	1,4D	Combination	-1297,99	-1015,47	-10,9	-0,09239	1,61	-831,61
1103	0,2	1,4D	Combination	-1307,17	-1002,36	-10,9	-0,09239	3,79	-629,83
1103	0,2	1,4D	Combination	-1479,68	-800,93	4,76	-0,24	4,1	-629,8
1103	1,45	1,4D	Combination	-1537,07	-718,97	4,76	-0,24	-1,84	320,14
1103	1,45	1,4D	Combination	-1768,2	-348,58	12,14	0,1	-1,34	320,15
1103	2,13635	1,4D	Combination	-1799,72	-303,57	12,14	0,1	-9,68	543,95
1103	2,7	1,4D	Combination	-1825,6	-266,61	12,14	0,1	-16,52	704,64
1103	2,7	1,4D	Combination	-2057,93	100,4	-12,06	0,21	-17,38	704,64
1103	3,95	1,4D	Combination	-2115,32	182,37	-12,06	0,21	-2,3	527,91
1103	3,95	1,4D	Combination	-2356,63	542,4	-18,35	-0,19	-5,28	527,02
1103	4,2727	1,4D	Combination	-2371,44	563,56	-18,35	-0,19	0,64	348,58

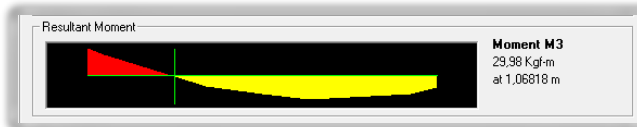
Pada tabel diatas menunjukkan bahwa momen terbesar terdapat pada frame 1103 dengan kombinasi 1,4D. Sehingga pada perhitungan kuda-kuda ini ditinjau pada frame 1103.

Momen akibat beban kombinasi 1,4D :

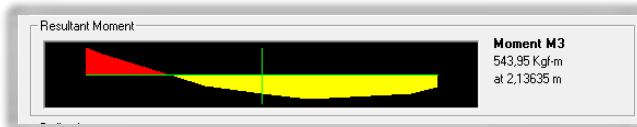


Gambar 4.2.3.6 momen akibat beban kombinasi 1,4D

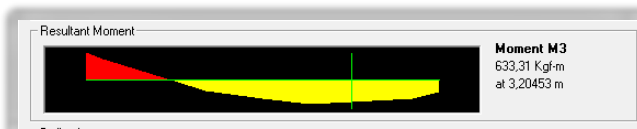
Momen $\frac{1}{4}$ bentang = 29,98 kgm



Momen $\frac{1}{2}$ bentang = 543,95 kgm



Momen $\frac{3}{4}$ bentang = 633,31 kgm



Momen maksimum = 831,61 kgm

- $M_A = 29,98 \text{ kgm}$ (1/4 bentang)
- $M_B = 543,95 \text{ kgm}$ (1/2 bentang)



- $M_C = 633,31 \text{ kgm}$ (3/4 bentang)
- $M_{\max} = 831,61 \text{ kgm}$
- $C_b = \frac{12,5 M_{\max}}{2,5 M_{\max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \leq 2,3$

$$= \frac{12,5 \cdot 831,61 \text{ kgm}}{(2,5 \cdot 831,61 \text{ kgm} + 3 \cdot 29,98 \text{ kgm} + 4 \cdot 543,95 \text{ kgm} + 3 \cdot 633,31 \text{ kgm})} \leq 2,3$$

$$= \frac{10395,125 \text{ kgm}}{6244,695 \text{ kgm}} \leq 2,3$$

$$= 1,7 < 2,3 \quad \rightarrow \quad \text{diambil } C_b = 1,7$$

(SNI 03-1729-2002 pasal 8.3.1)

Bentang Panjang

$$M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$= 324000 \text{ mm}^3 \cdot 240 \text{ MPa} = 77760000 \text{ Nmm}$$

$$M_n = M_{cr} \leq M_p$$

$$= C_b \frac{\pi}{L} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L}\right)^2 I_y I_w}$$

$$= 1,7 \frac{\pi}{4272,7 \text{ mm}} \sqrt{\begin{matrix} 2 \cdot 10^5 \text{ MPa} \cdot 294 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \cdot \\ 8 \cdot 10^4 \text{ MPa} \cdot 78102 \text{ mm}^4 \\ + \left(\frac{\pi \cdot 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}}{4273,7} \right)^2 294 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \\ \cdot 4,254 \cdot 10^{10} \text{ mm}^6 \end{matrix}}$$

$$= 99818836,44 \text{ Nmm} > M_p = 77760000 \text{ Nmm}$$

Maka digunakan $M_n = M_p$

SNI 03-1729-2002 tabel 8.3-1

Kontrol momen

$$\phi M_n \geq M_u$$

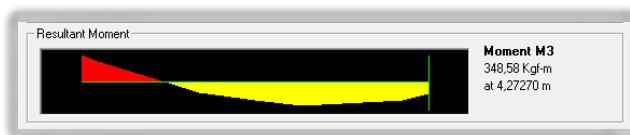
$$0,9 \cdot 77760000 \text{ Nmm} \geq 8316100 \text{ Nmm}$$

$$69984000 \text{ Nmm} > 8316100 \text{ Nmm} \quad (\text{Memenuhi})$$

(SNI 03-1729-2002 pasal 8.1.3)

Momen untuk struktur bergoyang

- Momen ujung terkecil (M_1) = 348,58 kgm



- Momen ujung terbesar (M_2) = 831,61 kgm



- Gaya aksial ultimate (N_u) = 2371,44 kg
- Momen akibat beban kombinasi yang tidak menimbulkan goyangan

$$M_{ntu} = 1D + 1H = 659,80 \text{ kgm}$$



- Momen akibat beban kombinasi yang dapat menimbulkan goyangan (angin)



$$M_{ltu} = 63,86 \text{ kgm}$$

$$\lambda_{Cx} = \frac{L k}{\pi r x} \sqrt{\frac{f_y}{E}}$$

$$= \frac{4272,7 \text{ mm} \cdot 0,5}{\pi \cdot 104 \text{ mm}} \sqrt{\frac{240 \text{ MPa}}{200000 \text{ MPa}}} = 0,716$$

$$0,25 < \lambda_{Cx} < 1,2 \rightarrow \omega = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \lambda_{Cx}} = \frac{1,43}{1,6 - 0,67 \cdot 0,716} = 1,28$$

$$N_{cr} = \frac{A b f_y}{\lambda_{Cx}} = \frac{3766 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ MPa}}{0,716^2} = 1763053,588 \text{ N}$$

$$N_n = A g f_y / \omega$$

$$= 3766 \text{ mm}^2 \cdot 240 \text{ MPa} / 1,28 = 706125 \text{ N}$$

$$C_m = 0,6 - 0,4(M_1/M_2)$$

$$= 0,6 - 0,4(348,58 \text{ kgm} / 831,61 \text{ kgm}) = 0,432$$

$$\delta_b = \frac{Cm}{1 - \frac{Nu}{Ncr}} = \frac{0,432}{1 - \frac{23714,4 N}{1763053,588 N}} = 0,44 \geq 1$$

maka, diambil $\delta_b = 1$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{Nu}{Ncr}} = \frac{1}{1 - \frac{23714,4 N}{1763053,588 N}} = 1,02$$

$$\begin{aligned} Mu &= \delta_b M_{ntu} + \delta_s M_{ltu} \\ &= 1 \cdot 659,8 \text{ kgm} + 1,02 \cdot 63,86 \text{ kgm} \\ &= 724,9372 \text{ kgm} = 7249372 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 7.4.3.2

$$\frac{Nu}{\phi Nn} = \frac{23714,4 N}{0,85 \cdot 706125 N} = 0,04 < 2$$

Maka digunakan interaksi aksial momen berikut :

$$\frac{Nu}{2\phi Nn} + \left[\frac{Mux}{\phi b Mnx} + \frac{Muy}{\phi b Mny} \right] < 1$$

$$\frac{23714,4 N}{2 \cdot 0,85 \cdot 706125 N} + \left[\frac{7249372 \text{ Nmm}}{0,9 \cdot 77760000 \text{ Nmm}} \right] = 0,18 < 1$$

(memenuhi)

SNI 03-1729-2002 pasal 7.4.3.3

Kontrol lendutan

Momen akibat 1D + 1H = 659,80 kgm

$$\begin{aligned} \Delta &= (5 Mu L^2)/(48E I_x) \\ &= (5 \cdot 6598000 \text{ Nmm} \cdot (4272,7 \text{ mm})^2)/(48 \cdot 200000 \text{ MPa} \cdot 40500000 \text{ mm}^4) \\ &= 1,55 \text{ mm} < \Delta_{ijin} = 4272,7/240 = 17,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

(memenuhi)

4.2.3.5 Perhitungan Kolom Pendek

Kolom pendek pada atap direncanakan menggunakan profil WF 250.125.9.6, berikut merupakan data perencanaan :

- Mutu baja = BJ 37
($f_u = 370 \text{ MPa}$, $f_y = 240 \text{ MPa}$)
- Berat (w) = 29,6 kg/m
- Tinggi (d) = 250 mm
- Lebar (b) = 125 mm
- Tebal badan (t_w) = 6 mm
- Tebal sayap (t_f) = 9 mm
- Momen inersia I_x = 4050 cm⁴
- Momen inersia I_y = 294 cm⁴
- Section area (A) = 37,66 cm²
- Modulus section Z_x = 324 cm³
- Modulus section Z_y = 47 cm³
- Jari-jari girasi r_x = 10,4 cm
- Jari-jari girasi r_y = 2,79 cm

Cek kelangsingan profil

$$\text{Sayap} \rightarrow \lambda = \frac{b}{2t_f} = \frac{125 \text{ mm}}{2 \cdot 9 \text{ mm}} = 6,944$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{f_y}} = \frac{170}{\sqrt{240}} = 10,97$$

SNI 03-1729-2002 tabel 7.5-1

$$\lambda < \lambda_p \text{ (kompak)}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 8.2.3

$$\text{Badan} \rightarrow \lambda = \frac{h}{t_w} = \frac{250 \text{ mm}}{6 \text{ mm}} = 41,667$$

$$\lambda_p = \frac{1680}{\sqrt{f_y}} = \frac{1680}{\sqrt{240}} = 108,44$$

SNI 03-1729-2002 tabel 7.5-1

$$\lambda < \lambda_p \text{ (kompak)}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 8.2.3

Cek kelangsingan lateral

$$\begin{aligned} - L_p &= 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \cdot 27,9 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{200000 \text{ MPa}}{240 \text{ MPa}}} \\ &= 1417,51 \text{ mm} > L = 500 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka, kolom termasuk bentang pendek

SNI 03-1729-2002 tabel 8.3-2

Dari pemodelan SAP2000 didapat gaya sebagai berikut :

TABLE: Element Forces - Frames									
Frame	Station	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	m	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-m	Kgf-m	Kgf-m
104	0,5	1,2D + 0,5H	Combination	-669,35	1018,86	8,3	0,19	-0,16	-109,45
104	0	1,2D + 0,5La	Combination	-698,6	1029,29	7,75	0,18	3,72	411,18
104	0,25	1,2D + 0,5La	Combination	-681,45	1029,29	7,75	0,18	1,79	153,86
104	0,5	1,2D + 0,5La	Combination	-664,29	1029,29	7,75	0,18	-0,15	-103,46
104	0	1D + 1H	Combination	-630,21	904,26	7,88	0,17	3,79	350,64
104	0,25	1D + 1H	Combination	-615,91	904,26	7,88	0,17	1,83	124,58
104	0,5	1D + 1H	Combination	-601,62	904,26	7,88	0,17	-0,14	-101,49
106	0	1,4D	Combination	-1837,95	-1616,61	0,08616	-0,000609	0,04209	-1184,73
106	0,25	1,4D	Combination	-1817,93	-1616,61	0,08616	-0,000609	0,02055	-780,58
106	0,5	1,4D	Combination	-1797,92	-1616,61	0,08616	-0,000609	-0,00099	-376,43
106	0	1,2D + 1,6H + 0,8W	Combination	-1975,21	-1533,81	-4,1	-0,11	-2,22	-963,15
106	0,25	1,2D + 1,6H + 0,8W	Combination	-1958,05	-1533,81	-4,1	-0,11	-1,19	-579,7
106	0,5	1,2D + 1,6H + 0,8W	Combination	-1940,9	-1533,81	-4,1	-0,11	-0,17	-196,25
106	0	1,2D + 0,5H	Combination	-1692,63	-1463,13	0,07989	-0,000574	0,03902	-1027,63
106	0,25	1,2D + 0,5H	Combination	-1675,47	-1463,13	0,07989	-0,000574	0,01905	-661,85

Pada tabel diatas menunjukkan bahwa momen terbesar terdapat pada frame 106 dengan kombinasi 1,4D. Sehingga pada perhitungan kolom pendek ini ditinjau pada frame 106.

Perhitungan Momen

- Momen maksimum (M_u) = 1184,73 kgm = 11847300 Nmm



Bentang Pendek

$$M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$$

$$= 324000 \text{ mm}^3 \cdot 240 \text{ MPa} = 77760000 \text{ Nmm}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 8.3.3

Kontrol momen

$$\phi M_n \geq M_u$$

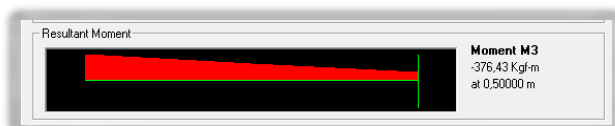
$$0,9 \cdot 77760000 \text{ Nmm} \geq 11847300 \text{ Nmm}$$

$$69984000 \text{ Nmm} > 11847300 \text{ Nmm} \quad (\text{Memenuhi})$$

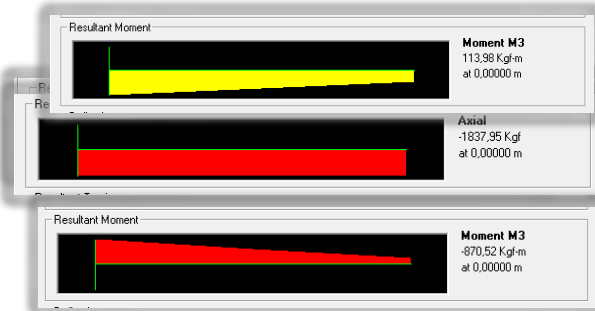
SNI 03-1729-2002 pasal 8.1.3

Momen untuk struktur bergoyang

- Momen ujung terkecil (M_1) = 376,43 kgm



- Momen ujung terbesar (M2) = 1184,73 kgm
- Gaya aksial ultimate (Nu) = 1837,95 kg
- Momen akibat beban kombinasi 1D+1H = 870,52kgm



- Momen akibat beban angin 1W = 113,98 Kgm

$$\lambda_{Cx} = \frac{Kc L}{\pi r x} \sqrt{\frac{fy}{E}}$$

$$= \frac{0,5 \ 500 \ mm}{\pi \ 104 \ mm} \sqrt{\frac{240MPa}{200000MPa}} = 0,0265$$

$$\lambda_{Cx} < 0,25 \rightarrow \omega = 1$$

$$N_{cr} = \frac{Ab \ fy}{\lambda_{Cx}^2} = \frac{3766mm^2 \ 240 \ MPa}{0,0265^2} = 1287063012 \ N$$

$$N_n = Ag \ f_y / \omega = 3766mm^2 \ 240MPa / 1 = 903840 \ N$$

$$C_m = 0,6 - 0,4(M_1/M_2)$$

$$= 0,6 - 0,4(376,43 \ kgm/1184,73 \ kgm) = 0,473$$

$$\delta_b = \frac{C_m}{1 - \frac{Nu}{N_{cr}}} = \frac{0,473}{1 - \frac{18379,5 \ N}{1287063012 \ N}} = 0,473 \geq 1$$

maka, diambil $\delta_b = 1$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{Nu}{Ncr}} = \frac{1}{1 - \frac{18379,5 N}{1287063012 N}} = 1$$

$$\begin{aligned} Mu &= \delta_b M_{ntu} + \delta_s M_{ltu} \\ &= 1 \cdot 870,52 \text{kgm} + 1 \cdot 113,98 \text{kgm} \\ &= 984.5 \text{ kgm} = 9845000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 7.4.3.2

$$\frac{Nu}{\phi Nn} = \frac{18379,5 N}{0,85 \cdot 903840 N} = 0,024 < 2$$

Maka digunakan interaksi aksial momen berikut :

$$\begin{aligned} \frac{Nu}{2\phi Nn} + \left[\frac{Mux}{\phi b Mnx} + \frac{Muy}{\phi b Mny} \right] &< 1 \\ \frac{6235,1 N}{2 \cdot 0,85 \cdot 903840 N} + \left[\frac{9850699 \text{ Nmm}}{0,9 \cdot 77760000 \text{ Nmm}} \right] &= 0,19 < 1 \end{aligned}$$

(memenuhi)

SNI 03-1729-2002 pasal 7.4.3.3

Kontrol lendutan

Momen akibat 1D + 1H = 870,52 kgm

$$\begin{aligned} \Delta &= (5 Mu L^2)/(48E I_x) \\ &= (5 \cdot 8705200 \text{ Nmm} \cdot (500 \text{ mm})^2)/(48 \cdot 200000 \text{ MPa} \cdot 40500000 \text{ mm}^4) \\ &= 0,028 \text{ mm} < 500/240 = 2 \text{ mm (memenuhi)} \end{aligned}$$

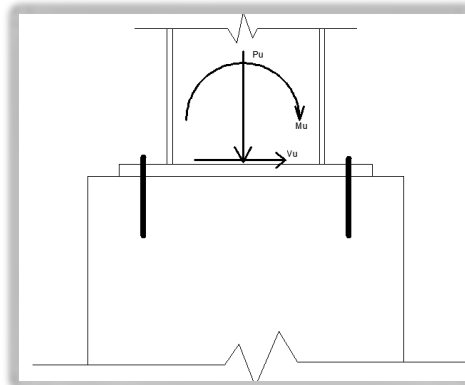
4.2.3.6 Perhitungan Angker dan Pelat Landas

Direncanakan :

$$\text{- B plat} = 150 \text{ mm}$$

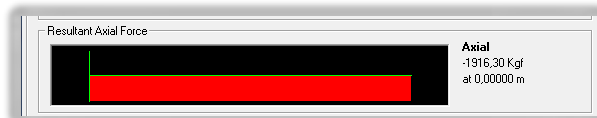
- H plat = 300 mm
- N baut = 4 buah
- D baut = 25 mm
- tp = 4 mm
- f_c' = 30 MPa
- f_y = 240 MPa
- f_u = 370 MPa
- σ_{ijin} baut = 1600 kg/cm²

Gaya dalam yang terjadi



Gambar 4.2.3.7 Gaya yang terjadi pada plat landas

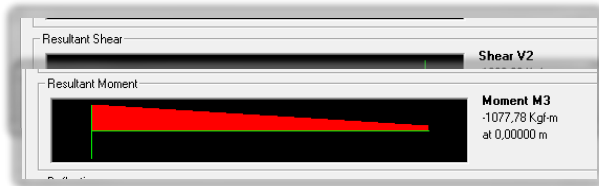
- $P_u = 1916,30$ kg



- $V_u = 1696,80 \text{ kg}$
- $M_u = 1077,78 \text{ kgm}$

Menghitung besaran m dan x :

$$m = \frac{N - 0,95d}{2} = \frac{400 \text{ mm} - 0,95 \cdot 250 \text{ mm}}{2} = 81,25 \text{ mm}$$



$$x = f - \frac{d}{2} - \frac{t_f}{2} = \frac{325 \text{ mm}}{2} - \frac{250 \text{ mm}}{2} - \frac{9 \text{ mm}}{2}$$

$$= 33 \text{ mm}$$

Agus Setiawan, 2013. Hal 330

Menghitung eksentrisitas :

$$e = \frac{M_u}{P_u} = \frac{1077,78 \text{ kgm}}{1916,30 \text{ kg}} = 0,56243 \text{ m} = 562,43 \text{ mm}$$

$$\frac{N}{6} = \frac{400 \text{ mm}}{6} = 66,6667 \text{ mm} < e = 562,43 \text{ mm}$$

(termasuk kategori D)

Agus Setiawan, 2013. Hal 333

Menghitung tegangan tumpu pada beton

$$q = \phi_c \cdot 0,85 \cdot f'_c \cdot B \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1}}$$

$$\text{diasumsikan : } \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} = 2$$

$$q = 0,6 \cdot 0,85 \cdot 30 \text{ MPa} \cdot 200 \text{ mm} \cdot 2 = 6120 \text{ N/mm}$$

$$f + \frac{N}{2} = \frac{250 \text{ mm}}{2} + \frac{400 \text{ mm}}{2} = 325 \text{ mm}$$

$$f + e = \frac{250 \text{ mm}}{2} + 562,43 \text{ mm} = 687,43 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} Y &= \left(f + \frac{N}{2}\right) - \sqrt{\left[-\left(f + \frac{N}{2}\right)\right]^2 - \frac{2Pu(f+e)}{q}} \\ &= (325 \text{ mm}) - \sqrt{-\frac{[-(325 \text{ mm})]^2}{2 \cdot 19163 \text{ N} (687,43 \text{ mm})} - \frac{6120 \text{ N/mm}}{6120 \text{ N/mm}}} \\ &= 6,69 \text{ mm} \end{aligned}$$

Agus Setiawan, 2013. Hal 335

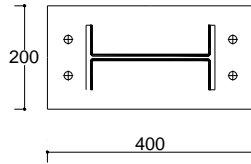
$$\begin{aligned} \text{Periksa} &= \sqrt{\frac{A2}{A1}} = \sqrt{\frac{200 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}}{200 \text{ mm} \times 6,69 \text{ mm}}} \\ &= 7,7 > \sqrt{\frac{A2}{A1}} = 2 \end{aligned}$$

$$\text{Maka diambil } \sqrt{\frac{A2}{A1}} = 2$$

$$\begin{aligned} T_u &= q \cdot Y - Pu \\ &= 6120 \text{ N/mm} \cdot 6,69 \text{ mm} - 19163 \text{ N} = 21779,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Pemeriksaan angkur terhadap gaya geser dan tarik

Digunakan 4 buah angkur berdiameter 16 dengan tipe angkur A307



Gambar 4.2.3.8 Rencana pemasangan angkur

$$V_{ub} = \frac{Vu}{n} = \frac{16968 \text{ N}}{4} = 4242 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi F_v A_b &= 0,75 \cdot 166 \text{ MPa} \left(\frac{1}{4} \pi (10\text{mm})^2 \right) \\ &= 9778,21 \text{ N} > V_{ub} = 4242 \text{ N} \end{aligned}$$

(memenuhi)

Agus Setiawan, 2013. Hal 335

$$\begin{aligned} F_t &= 407 - 1,9f_v \\ &= 407 - 1,9 \left(\frac{4242 \text{ N}}{\frac{1}{4} \pi (10\text{mm})^2} \right) \\ &= 304,38 \text{ MPa} < 310 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$T_{ub} = \frac{Tu}{nt} = \frac{21779,9 \text{ N}}{2} = 10889,95 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \phi F_t A_b &= 0,75 \cdot 304,38 \text{ MPa} \cdot \frac{1}{4} \pi (10\text{mm})^2 \\ &= 17929,46 \text{ N} > T_{ub} = 10889,95 \text{ N} \end{aligned}$$

(memenuhi)

Agus Setiawan, 2013. Hal 335

Perhitungan tebal pelat landas

$$Y = 6,69 \text{ mm} < m = 81,25 \text{ mm}$$

$$t_{p \text{ perlu } 1} \geq 2,11 \sqrt{\frac{T_u x}{B f_y}} = 2,11 \sqrt{\frac{21779,9 \text{ N } 33 \text{ mm}}{200 \text{ mm } 240 \text{ MPa}}} \\ = 8,16 \text{ mm}$$

$$\text{maka, } t_{p \text{ perlu } 1} = 8,16 \text{ mm} \rightarrow 9 \text{ mm}$$

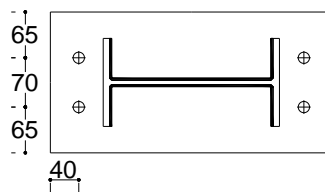
$$t_{p \text{ perlu } 2} \geq 2,11 \sqrt{\frac{P_u \left(m - \frac{Y}{2}\right)}{B f_y}} \\ \geq 2,11 \sqrt{\frac{19163 \text{ N } \left(81,25 \text{ mm} - \frac{6,69 \text{ mm}}{2}\right)}{200 \text{ mm } 240 \text{ MPa}}} = 11,77 \text{ mm}$$

$$\text{maka, } t_{p \text{ perlu } 2} = 11,77 \text{ mm} \rightarrow 12 \text{ mm}$$

Agus Setiawan, 2013. Hal 337

jadi tebal pelat landas yang digunakan, $t_p = 12 \text{ mm}$

Sehingga ukuran pelat Landas adalah 200 mm x 400 mm x 12 mm



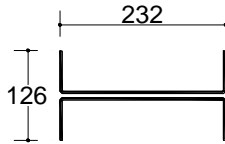
Gambar 4.2.3.9 Detail pemasangan angker

Perhitungan sambungan las

Data perencanaan sambungan :

Sambungan menggunakan las sudut

Tebal plat baja	: 12 mm
f_{uw}	: 490 MPa
t_w	: 3 mm
	(SNI 03-1729-2002 tabel 13.5-1)
t_e	: $0,707 t_w$
	: $0,707 \cdot 3 \text{ mm}$
	: $2,121 \text{ mm} \rightarrow 3 \text{ mm}$
Mutu baja	: BJ 37
f_y	: 240 MPa
f_u	: 370 MPa



Gambar 4.2.3.10 Panjang Pengelasan

$$L_{\text{total}} = (2 \cdot 232 \text{ mm}) + (2 \cdot (126 \text{ mm} - 6))$$

$$= 704 \text{ mm}$$

Kuat las sudut :

- Tahanan terhadap las

$$\phi_f R_{nw} = 0,75 t_e 0,6 f_{uw}$$

$$= 0,75 \cdot 3 \text{ mm} \cdot 0,6 \cdot 490 \text{ MPa}$$

$$= 661,5 \text{ N/mm}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.10
- Tahanan terhadap bahan dasar baja

$$\phi_f R_{nw} = 0,75 t_e 0,6 f_u$$

$$= 0,75 \cdot 3 \text{ mm} \cdot 0,6 \cdot 370 \text{ MPa}$$

$$= 499,5 \text{ N/mm}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.10

$$\phi_f R_{nw} \text{ las} > \phi_f R_{nw} \text{ bahan dasar baja}$$

$$661,5 \text{ N/mm} > 499,5 \text{ N/mm}$$

Maka dipakai $\phi_f R_{nw}$ adalah $\phi_f R_{nw}$ bahan dasar baja
 $= 499,5 \text{ N/mm}$

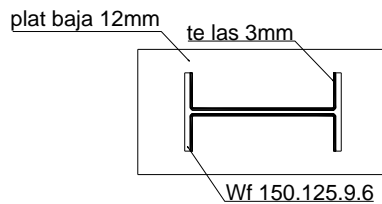
- Akibat Geser Sentris

$$R_u = \frac{PuV}{L_{total}} = \frac{1696,80 \text{ N}}{704 \text{ mm}} = 2,41 \text{ N/mm}$$

Cek syarat :

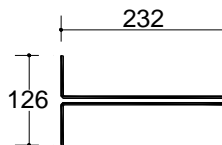
$$\begin{array}{rcl} R_u & \leq & \phi_f R_{nw} \\ 2,41 \text{ N/mm} & < & 499,5 \text{ N/mm} \end{array}$$

(memenuhi)



Gambar 4.2.3.11 Detail Sambungan Las Geser Sentris

- Akibat Geser Lentur



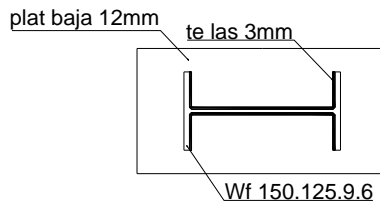
Gambar modulus penmpang las

Menghitung modulus penampang (S) :

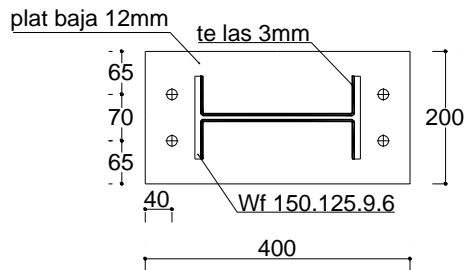
$$\begin{aligned}
 S &= bd_1 + d_1^2/3 \\
 &= 231\text{mm} \cdot 126\text{mm} + (126\text{mm})^2/3 \\
 &= 34398 \text{ mm}^2 \\
 R_u &= \frac{M_u}{S} = \frac{1077,78 \text{ Nmm}}{34398 \text{ mm}^2} = 0,03 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat :

$$\begin{array}{rcl}
 R_u & \leq & \phi_f R_{nw} \\
 0,03 \text{ N/mm} & < & 499,5 \text{ N/mm} \\
 & & \text{(memenuhi)}
 \end{array}$$



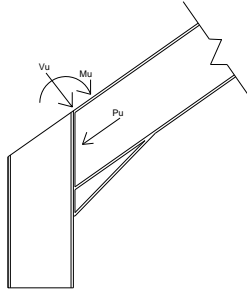
Gambar 4.2.3.12 Detail Sambungan Las Geser Lentur



Gambar 4.2.3.13 Detail Angkur dan Plat landas

4.2.3.7 Perhitungan Sambungan

a. Sambungan Kuda-kuda dengan kolom

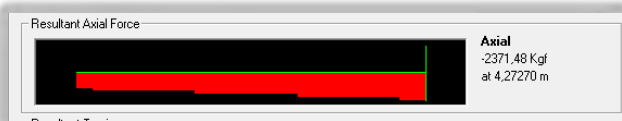


Gambar 4.2.3.14 Rencana Sambungan Kuda – kuda dengan Kolom Pendek

Gaya terjadi pada sambungan kuda-kuda dengan kolom pendek :

Didapat dari SAP 2000

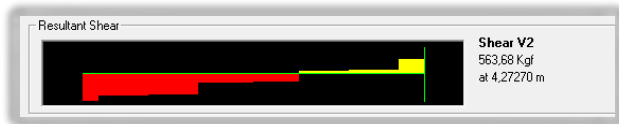
- $P_u = 2371,48 \text{ kg} = 23714,8 \text{ N}$



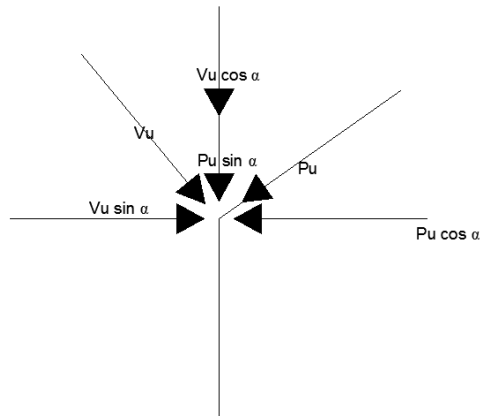
- $M_u = 348,5 \text{ kgm} = 3485000 \text{ Nmm}$



- $V_u = 563,68 \text{ kg} = 5636,8 \text{ N}$



Penguraian gaya pada sambungan yang ditinjau :



Gambar 4.2.3.15 Penguraian Gaya Dalam

$$\begin{aligned} V_u \sin \alpha &= 5636,8 \text{ N} \sin 35^\circ \\ &= 3233,14 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \cos \alpha &= 5636,8 \text{ N} \cos 35^\circ \\ &= 4617,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u \sin \alpha &= 23714,8 \text{ N} \sin 35^\circ \\ &= 13602,25 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u \cos \alpha &= 23714,8 \text{ N} \cos 35^\circ \\ &= 19426,03 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_u H &= P_u \cos \alpha - V_u \sin \alpha \\
 &= 19426,03 \text{ N} - 3233,14 \text{ N} = 16192,89 \text{ N} \\
 P_u V &= P_u \sin \alpha + V_u \cos \alpha \\
 &= 13602,25 \text{ N} + 4617,4 \text{ N} = 18219,65 \text{ N} \\
 M_u &= 3485000 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

- Sambungan plat sambung dengan kolom pendek
Data perencanaan sambungan :

Direncanakan menggunakan sambungan baut

d_b (diameter baut)	: 13 mm
tipe baut	: A325
f_u^b (tegangan putus baut)	: 825 MPa
n (jumlah baut)	: 8 baut

Tahanan nominal satu baut :

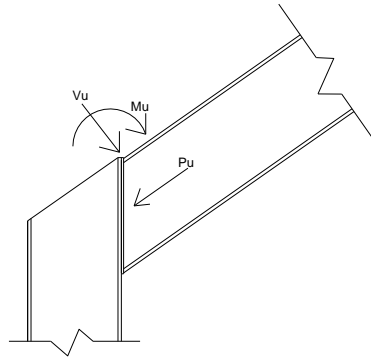
- Tahanan Geser :

$$\begin{aligned}
 V_d &= \phi_r r_l f_u^b A_b \\
 &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 825 \text{ MPa} \cdot \frac{1}{4} \pi (13\text{mm})^2 \\
 &= 41043,23 \text{ N} \\
 &\text{SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.1}
 \end{aligned}$$
- Tahanan Tumpu :

$$\begin{aligned}
 R_d &= 2,4 \phi_r d_b t_p f_u \\
 &= 2,4 \cdot 0,75 \cdot 13\text{mm} \cdot 6\text{mm} \cdot 370\text{MPa} \\
 &= 51948 \text{ N} \\
 &\text{SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.4}
 \end{aligned}$$
- Tahanan Tarik :

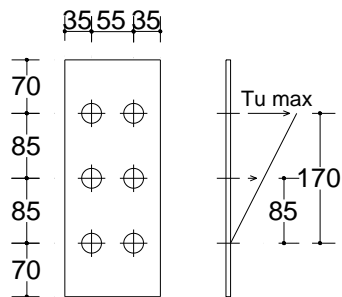
$$\begin{aligned}
 T_d &= \phi_r 0,75 f_u^b A_b \\
 &= 0,75 \cdot 0,75 \cdot 825 \text{ MPa} \cdot \frac{1}{4} \pi (13\text{mm})^2 \\
 &= 61564,85 \text{ N} \\
 &\text{SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.2}
 \end{aligned}$$

Akibat Geser Lentur :



Gambar 4.2.3.16 Gaya pada Sambungan Geser Lentur

Cara pendekatan titik putar



Gambar 4.2.3.17 Gaya Tarik Akibat Lentur

$$\begin{aligned}
 T_u \max &= \frac{M_u \cdot d \max}{\Sigma d^2} \\
 &= \frac{3485000 \text{ Nmm} \cdot 170 \text{ mm}}{2 \cdot ((85 \text{ mm})^2 + (170 \text{ mm})^2)} = 8200 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$T_u \max = 8200 \text{ N} < T_d = 61564,85 \text{ N}$$

(memenuhi)

Cek Kontrol Geser

$$V_u = \frac{P_u}{n} = \frac{18219,65 \text{ N}}{6}$$

$$= 2277,46 \text{ N/baut} < V_d = 41043,23 \text{ N}$$

(memenuhi)

Cek jarak baut

Jarak minimum :

$$\begin{aligned} \text{- Antar baut} &= 3 d_b \\ &= 3 \cdot 13\text{mm} = 39\text{mm} \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 13.4.1

$$\begin{aligned} \text{- Dari baut ke tepi} &= 1,25 d_b \\ &= 1,25 \cdot 13\text{mm} \\ &= 16,25\text{mm} \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 13.4.2

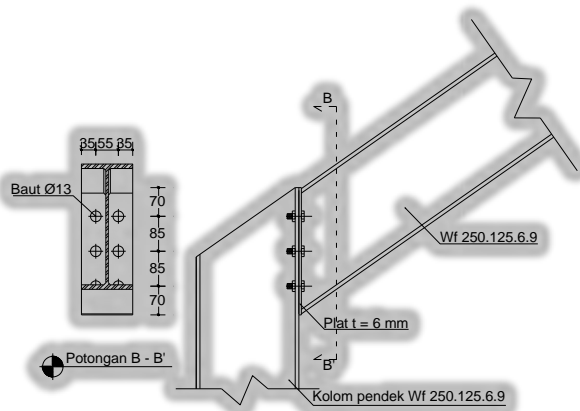
Jarak maksimum :

$$\begin{aligned} \text{- Antar baut} &= 15 t_p \\ &= 15 \cdot 6\text{mm} = 90\text{mm} \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 13.4.3

$$\begin{aligned} \text{- Dari baut ke tepi} &= 12 t_p \\ &= 12 \cdot 6\text{mm} = 72\text{mm} \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 13.4.4



Gambar 4.2.3.18 Detail Pemasangan Baut

- Sambungan plat sambung dengan kuda – kuda

Data perencanaan sambungan :

Sambungan menggunakan las sudut

Tebal plat baja : 6 mm

f_{uw} : 490 MPa

t_w : 3 mm

(SNI 03-1729-2002 tabel 13.5-1)

t_e : $0,707t_w$

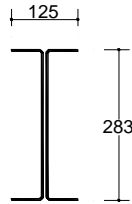
: $0,707 \cdot 3\text{mm}$

: 2,121mm \rightarrow 3mm

Mutu baja : BJ 37

f_y : 240 MPa

f_u : 370 MPa



Gambar 4.2.3.19 Panjang Pengelasan

$$L_{total} = (2 \cdot 283\text{mm}) + (2 \cdot (125\text{mm} - 6))$$

$$= 804 \text{ mm}$$

Kuat las sudut :

- Tahanan terhadap las

$$\phi_f R_{nw} = 0,75 t_e 0,6 f_{uw}$$

$$= 0,75 \cdot 3\text{mm} \cdot 0,6 \cdot 490\text{MPa}$$

$$= 661,5 \text{ N/mm}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.10
- Tahanan terhadap bahan dasar baja

$$\phi_f R_{nw} = 0,75 t_e 0,6 f_u$$

$$= 0,75 \cdot 3\text{mm} \cdot 0,6 \cdot 370\text{MPa}$$

$$= 499,5 \text{ N/mm}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.10

$$\phi_f R_{nw} \text{ las} > \phi_f R_{nw} \text{ bahan dasar baja}$$

$$661,5 \text{ N/mm} > 499,5 \text{ N/mm}$$

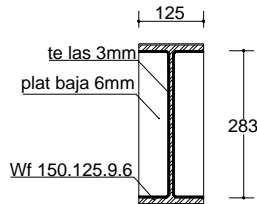
Maka dipakai $\phi_f R_{nw}$ adalah $\phi_f R_{nw}$ bahan dasar baja
 $= 499,5 \text{ N/mm}$

• Akibat Geser Sentris

$$R_u = \frac{PuV}{L_{total}} = \frac{18219,65 \text{ N}}{804 \text{ mm}} = 22,66 \text{ N/mm}$$

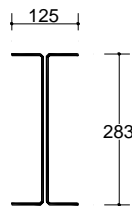
Cek syarat :

$$\begin{array}{rcl}
 R_u & \leq & \phi_f R_{nw} \\
 22,66 \text{ N/mm} & < & 499,5 \text{ N/mm} \\
 & & \text{(memenuhi)}
 \end{array}$$



Gambar 4.2.3.20 Detail Sambungan Las Geser Sentris

- Akibat Geser Lentur



Gambar 4.2.3.21 Modulus Penampang Las

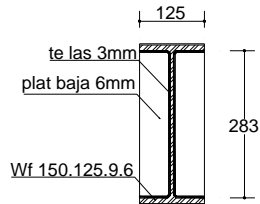
Menghitung modulus penampang (S) :

$$\begin{aligned}
 S &= bd_1 + d_1^2/3 \\
 &= 125\text{mm} \cdot 283\text{mm} + (283\text{mm})^2/3 \\
 &= 62071,33 \text{ mm}^2 \\
 R_u &= \frac{M_u}{S} = \frac{3485000 \text{ Nmm}}{62071,33 \text{ mm}^2} = 56,14 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat :

$$\begin{array}{rcl}
 R_u & \leq & \phi_f R_{nw} \\
 56,14 \text{ N/mm} & < & 499,5 \text{ N/mm}
 \end{array}$$

(memenuhi)



Gambar 4.2.3.22 Detail Samungan Las Geser Lentur

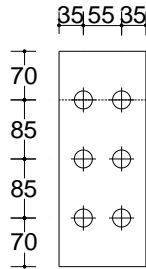
Tinjauan Plat

- Kondisi leleh :

$$\begin{aligned}
 \phi N_n &= \phi A_g f_y \\
 &= 0,9 \cdot (t_p \cdot b) \cdot 240 \text{ MPa} \\
 &= 0,9 \cdot (6\text{mm} \cdot 125\text{mm}) \cdot 240\text{MPa} \\
 &= 162000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.1

- Kondisi fraktur :
Kondisi fraktur 1



Gambar 4.2.3.23 Arah Robekan pada Kondisi Fraktur 1

$$\begin{aligned}
 A_{nt} &= A_g - n \cdot d \cdot t \\
 &= (6 \text{ mm} \cdot 125 \text{ mm}) - (2 \cdot (13 \text{ mm} \cdot 2) \cdot 6 \text{ mm}) \\
 &= 438 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.2.1

$$\begin{aligned}
 l &\geq 2w \\
 822 \text{ mm} &> 2 \cdot 125 \text{ mm} = 250 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka, $U = 1,0$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.2.4

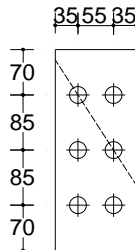
$$\begin{aligned}
 A_e &= A_{nt} \cdot U \\
 &= 438 \text{ mm}^2 \cdot 1,0 = 438 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.2

$$\begin{aligned}
 \phi N_n &= 0,75 \cdot A_e \cdot f_u \\
 &= 0,75 \cdot 438 \text{ mm}^2 \cdot 370 \text{ MPa} \\
 &= 121545 \text{ N}
 \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.1

Kondisi fraktur 2



Gambar 4.2.3.24 Arah Robekan pada Kondisi Fraktur 2

$$\begin{aligned}
 A_{nt} &= A_g - n d t + \sum \frac{S^2 t p}{4 u} \\
 &= (6 \text{ mm} \cdot 125 \text{ mm}) - (2 \cdot (13 \text{ mm} \cdot 2 \cdot 6 \text{ mm})) + \left(\frac{(85 \text{ mm})^2 \cdot 6 \text{ mm}}{4 \cdot 55 \text{ mm}} \right) \\
 &= 635,045 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.2.1

$$l \geq 2w$$

$$822 \text{ mm} > 2 \cdot 125 \text{ mm} = 250 \text{ mm}$$

Maka, $U = 1,0$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.2.4

$$\begin{aligned}
 A_e &= A_{nt} \cdot U \\
 &= 635,045 \text{ mm}^2 \cdot 1,0 = 635,045 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.2

$$\begin{aligned}
 \phi N_n &= 0,75 \cdot A_e \cdot f_u \\
 &= 0,75 \cdot 635,045 \text{ mm}^2 \cdot 370 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$= 176224,98 \text{ N}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.1

$$\phi N_n \text{ fraktur 1} < \phi N_n \text{ fraktur 2}$$

$$121545 \text{ N} < 176224,98 \text{ N}$$

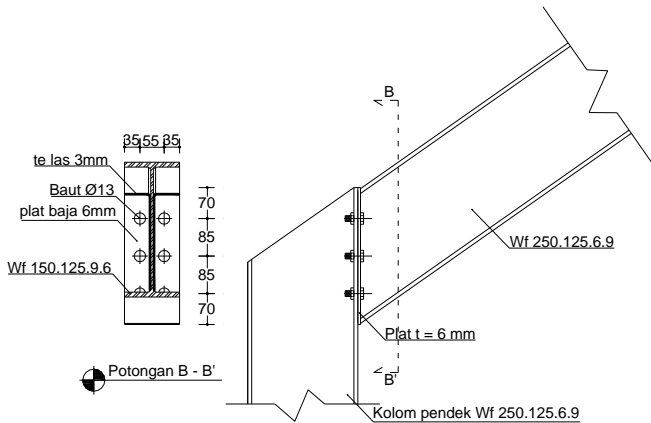
$$\text{maka dipakai } \phi N_n \text{ fraktur 2} = 171533,85 \text{ N}$$

Cek syarat :

$$P_u V \leq \phi N_n$$

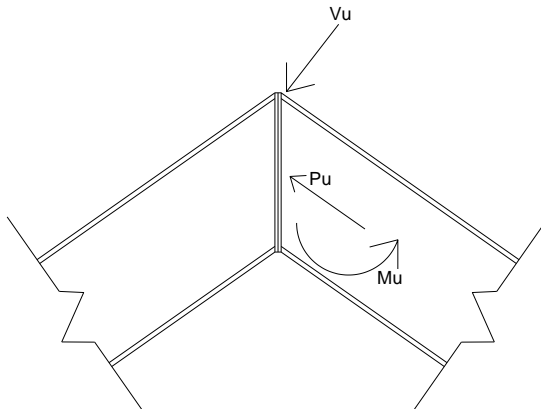
$$18219,65 \text{ N} < 171533,85 \text{ N}$$

(memenuhi)



Gambar 4.2.3.25 Detail Sambungan Kolom pendek dan kuda - kuda

b. Sambungan antar kuda-kuda



Gambar 4.2.3.26 Gaya yang terjadi pada sambungan

Gaya terjadi pada sambungan kuda-kuda dengan kolom pendek :

Didapat dari SAP 2000

- $P_u = 1298,01 \text{ kg} = 12980,1 \text{ N}$

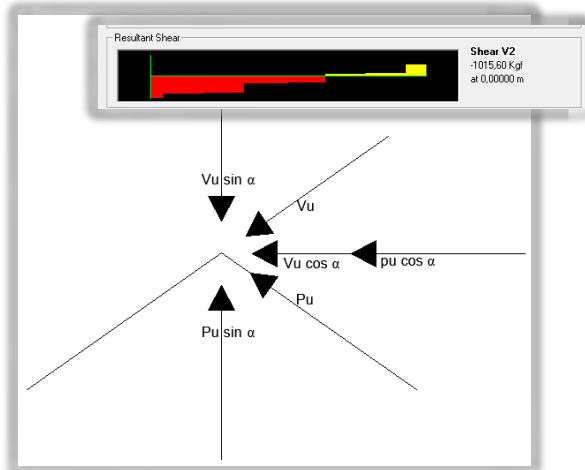


- $M_u = 831,67 \text{ kgm} = 8316700 \text{ Nmm}$



$$- \quad V_u = 1015,60 \text{ kg} = 10156,0 \text{ N}$$

Penguraian gaya pada sambungan yang ditinjau :



Gambar 4.2.3.27 Penguraian Gaya Dalam

$$\begin{aligned} V_u \sin \alpha &= 10156,0 \text{ N} \sin 35^\circ \\ &= 5825,24 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_u \cos \alpha &= 10156,0 \text{ N} \cos 35^\circ \\ &= 8319,31 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u \sin \alpha &= 12980,1 \text{ N} \sin 35^\circ \\ &= 7445,08 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_u \cos \alpha &= 12980,1 \text{ N} \cos 35^\circ \\ &= 10632,67 \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u H = P_u \cos \alpha + V_u \cos \alpha$$

$$= 19426,03 \text{ N} - 3233,14 \text{ N}$$

$$= 16192,89 \text{ N}$$

$$P_u V = P_u \sin \alpha - V_u \sin \alpha$$

$$= 7445,08 \text{ N} - 5825,24 \text{ N}$$

$$= 1619,84 \text{ N}$$

$$M_u = 8316700 \text{ Nmm}$$

- Sambungan antar kuda-kuda

Data perencanaan sambungan :

Direncanakan menggunakan sambungan baut

d_b (diameter baut) : 13 mm

tipe baut : A325

f_u^b (tegangan putus baut) : 825 MPa

n (jumlah baut) : 6 baut

Tahanan nominal satu baut :

- Tahanan Geser :

$$\begin{aligned} V_d &= \phi_r r_1 f_u^b A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 825 \text{ MPa} \cdot \frac{1}{4} \pi (13\text{mm})^2 \\ &= 41043,23 \text{ N} \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.1

- Tahanan Tumpu :

$$\begin{aligned} R_d &= 2,4 \phi_r d_b t_p f_u \\ &= 2,4 \cdot 0,75 \cdot 13\text{mm} \cdot 6\text{mm} \cdot 370\text{MPa} \\ &= 51948 \text{ N} \end{aligned}$$

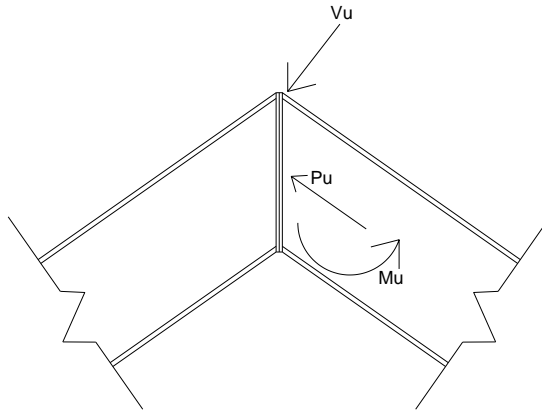
SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.4

- Tahanan Tarik :

$$\begin{aligned} T_d &= \phi_r 0,75 f_u^b A_b \\ &= 0,75 \cdot 0,75 \cdot 825 \text{ MPa} \cdot \frac{1}{4} \pi (13\text{mm})^2 \\ &= 61564,85 \text{ N} \end{aligned}$$

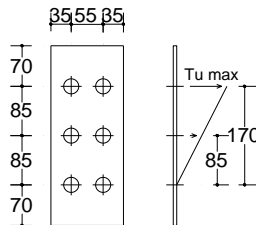
SNI 03-1729-2002 pasal 13.2.2.2

Akibat Geser Lentur :



Gambar 4.2.3.28 Gaya pada Sambungan Geser Lentur

Cara pendekatan titik putar



Gambar 4.2.3.29 Gaya Tarik Akibat Lentur

$$T_u \max = \frac{M_u \cdot d \max}{\sum d^2}$$

$$= \frac{8316700 \text{ Nmm} \cdot 170 \text{ mm}}{2 \cdot ((85 \text{ mm})^2 + (170 \text{ mm})^2)} = 19568,70 \text{ N}$$

$$T_u \max = 19568,70 \text{ N} < T_d = 61564,85 \text{ N}$$

(memenuhi)

Cek Kontrol Geser

$$V_u = \frac{P_u}{n} = \frac{1619,84 \text{ N}}{6}$$

$$= 269,97 \text{ N/baut} < V_d = 2034,72 \text{ N}$$

(memenuhi)

Cek jarak baut

Jarak minimum :

- Antar baut $= 3 d_b$
- $= 3 \cdot 13\text{mm} = 39\text{mm}$

SNI 03-1729-2002 pasal 13.4.1

- Dari baut ke tepi $= 1,25 d_b$
- $= 1,25 \cdot 13\text{mm}$
- $= 16,25\text{mm}$

SNI 03-1729-2002 pasal 13.4.2

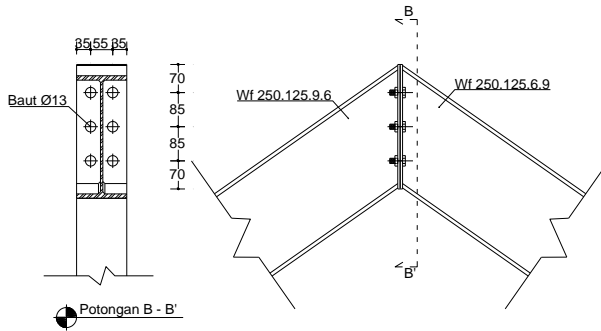
Jarak maksimum :

- Antar baut $= 15 t_p$
- $= 15 \cdot 6\text{mm} = 90\text{mm}$

SNI 03-1729-2002 pasal 13.4.3

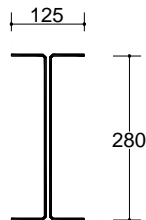
- Dari baut ke tepi $= 12 t_p$
- $= 12 \cdot 6\text{mm} = 72\text{mm}$

SNI 03-1729-2002 pasal 13.4.4



Gambar 4.2.3.30 Detail Pemasangan Baut

- Sambungan plat sambung dengan kuda
Data perencanaan sambungan :
Sambungan menggunakan las sudut
Tebal plat baja : 6 mm
 f_{uw} : 490 MPa
 t_w : 3 mm
(SNI 03-1729-2002 tabel 13.5-1)
 t_e : $0,707t_w$
: $0,707 \cdot 3\text{mm}$
: 2,121mm \rightarrow 3mm
Mutu baja : BJ 37
 f_y : 240 MPa
 f_u : 370 MPa



Gambar 4.2.3.31 Panjang Pengelasan

$$L_{\text{total}} = (2 \cdot 280\text{mm}) + (2 \cdot (125\text{mm} - 6))$$

$$= 798 \text{ mm}$$

Kuat las sudut :

- Tahanan terhadap las

$$\phi_f R_{nw} = 0,75 t_e 0,6 f_{uw}$$

$$= 0,75 \cdot 3\text{mm} \cdot 0,6 \cdot 490\text{MPa}$$

$$= 661,5 \text{ N/mm}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.10
- Tahanan terhadap bahan dasar baja

$$\phi_f R_{nw} = 0,75 t_e 0,6 f_u$$

$$= 0,75 \cdot 3\text{mm} \cdot 0,6 \cdot 370\text{MPa}$$

$$= 499,5 \text{ N/mm}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 13.5.3.10

$$\phi_f R_{nw} \text{ las} > \phi_f R_{nw} \text{ bahan dasar baja}$$

$$661,5 \text{ N/mm} > 499,5 \text{ N/mm}$$

Maka dipakai $\phi_f R_{nw}$ adalah $\phi_f R_{nw}$ bahan dasar baja
 $= 499,5 \text{ N/mm}$

• Akibat Geser Sentris

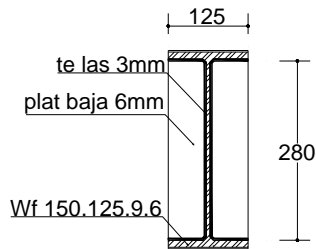
$$R_u = \frac{PuV}{L_{\text{total}}} = \frac{1619,84 \text{ N}}{798 \text{ mm}} = 2,02 \text{ N/mm}$$

Cek syarat :

$$R_u \leq \phi_f R_{nw}$$

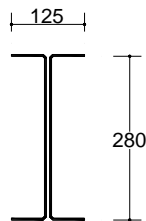
$$2,02 \text{ N/mm} < 499,5 \text{ N/mm}$$

(memenuhi)



Gambar 4.2.3.32 Detail Smbungan Las Geser Sentris

- Akibat Lentur



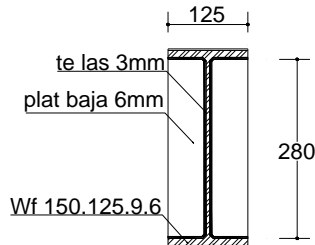
Gambar 4.2.3.33 Modulus Penampang Las

Menghitung modulus penampang (S) :

$$\begin{aligned}
 S &= (bd_1 + (d_1^2/3)) \\
 &= (125\text{mm} \cdot 280\text{mm} + (280\text{mm})^2/3) \\
 &= 61133,33 \text{ mm}^2 \\
 R_u &= \frac{M_u}{S} = \frac{8316700 \text{ Nmm}}{61133,33 \text{ mm}^2} = 136,04 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat :

$$\begin{aligned}
 R_u &\leq \phi_f R_{nw} \\
 136,04 \text{ N/mm} &< 499,5 \text{ N/mm} \\
 &\text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.2.3.34 Detail Smabungan Las Geser Lentur

Tinjauan Plat

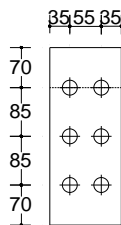
- Kondisi leleh :

$$\begin{aligned}
 \phi N_n &= \phi A_g f_y \\
 &= 0,9 \cdot (t_p \cdot b) \cdot 240 \text{ MPa} \\
 &= 0,9 \cdot (6\text{mm} \cdot 125\text{mm}) \cdot 240\text{MPa} \\
 &= 162000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.1

- Kondisi fraktur :

Kondisi fraktur 1



Gambar 4.2.3.35 Arah Robekan pada Kondisi Fraktur 1

$$A_{nt} = A_g - n d t$$

$$= (6\text{mm} \cdot 125\text{mm}) - (2 \cdot (13\text{mm} \cdot 2) \cdot 6\text{mm})$$

$$= 438 \text{ mm}^2$$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.2.1

$$l \geq 2w$$

$$798 \text{ mm} > 2 \cdot 125\text{mm} = 250\text{mm}$$

$$\text{Maka, } U = 1,0$$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.2.4

$$A_e = A_{nt} \cdot U$$

$$= 438 \text{ mm}^2 \cdot 1,0 = 438 \text{ mm}^2$$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.2

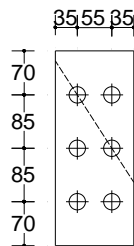
$$\phi N_n = 0,75 \cdot A_e \cdot f_u$$

$$= 0,75 \cdot 438\text{mm}^2 \cdot 370\text{MPa}$$

$$= 121545 \text{ N}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.1

Kondisi fraktur 2



Gambar 4.2.3.36 Arah Robekan pada Kondisi Fraktur 2

$$\begin{aligned}
 A_{nt} &= A_g - n d t + \sum \frac{S^2 t p}{4 u} \\
 &= (6\text{mm} \cdot 125\text{mm}) - (2 \cdot (13\text{mm} \cdot 2) \cdot 6\text{mm}) + \left(\frac{(85\text{mm})^2 \cdot 6\text{mm}}{4 \cdot 55\text{mm}} \right) \\
 &= 635,045 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.2.1

$$\begin{aligned}
 l &\geq 2w \\
 798 \text{ mm} &> 2 \cdot 125\text{mm} = 250\text{mm}
 \end{aligned}$$

Maka, $U = 1,0$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.2.4

$$\begin{aligned}
 A_e &= A_{nt} \cdot U \\
 &= 635,045 \text{ mm}^2 \cdot 1,0 = 635,045 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.2

$$\begin{aligned}
 \phi N_n &= 0,75 \cdot A_e \cdot f_u \\
 &= 0,75 \cdot 635,045 \text{ mm}^2 \cdot 370\text{MPa} \\
 &= 176224,98 \text{ N}
 \end{aligned}$$

SNI 03-1729-2002 pasal 10.1

$$\begin{aligned}
 \phi N_n \text{ fraktur 1} &< \phi N_n \text{ fraktur 2} \\
 121545 \text{ N} &< 176224,98 \text{ N}
 \end{aligned}$$

maka dipakai $\phi N_n \text{ fraktur 2} = 171533,85 \text{ N}$

Cek syarat :

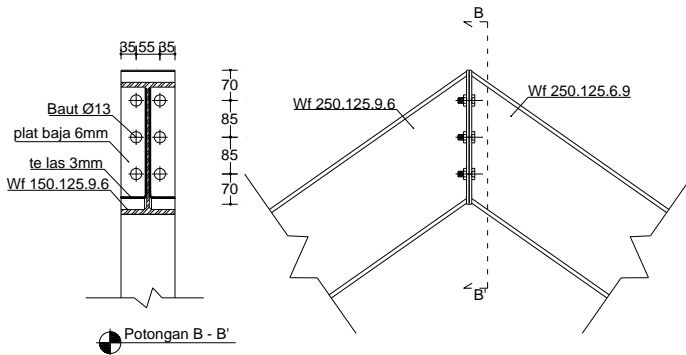
$$P_u V \leq \phi N_n$$

18219,65 N

<

167060,55 N

(memenuhi)



Gambar 4.2.3.37 Detail Sambungan antar kuda - kuda

4.3 Perencanaan Struktur Primer

4.3.1 Perhitungan Beban

1.) Pembebanan Balok dan Sloof

Berikut adalah beban dinding yang bekerja pada balok dan sloof :

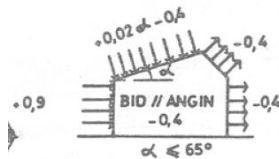
1. Dinding pada sloof (250 kg/m^2)
 - a. $H : 1,8 \text{ m}$, $A : 100\% = 250 \text{ kg/m}^2 \times 1,8 \text{ m}$
 $= 450 \text{ kg/m}$
 - b. $H : 1,8 \text{ m}$, $A : 40\% = 250 \text{ kg/m}^2 \times 1,8 \text{ m} \times 0,4$
 $= 180 \text{ kg/m}$
2. Dinding pada balok lantai 1 dan 2 (250 kg/m^2)
 1. $H : 3,6 \text{ m}$, $A : 100\% = 250 \text{ kg/m}^2 \times 3,6 \text{ m}$
 $= 900 \text{ kg/m}$
 2. $H : 3,6 \text{ m}$, $A : 60\% = 250 \text{ kg/m}^2 \times 3,6 \text{ m}$
 $= 540 \text{ kg/m}$
3. Dinding pada balok lantai 3 (250 kg/m^2)
 1. $H : 3,55 \text{ m}$, $A : 100\% = 250 \text{ kg/m}^2 \times 3,55 \text{ m}$

$$\begin{aligned}
 &= 887,5 \text{ kg/m} \\
 2. \quad H : 3,55 \text{ m}, A : 60\% &= 250 \text{ kg/m}^2 \times 3,55 \text{ m} \\
 &= 532,5 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

2.) Pembebanan Kolom

Berikut adalah beban angin yang bekerja pada kolom :

$$1. \text{ Beban Angin} = 25 \text{ kg/m}^2 \text{ (PPIUG 1983 Pasal 4.2)}$$



Koefisien angin :

1. Bidang atap di pihak angin = +0,9
2. Bidang atap lain = -0,4

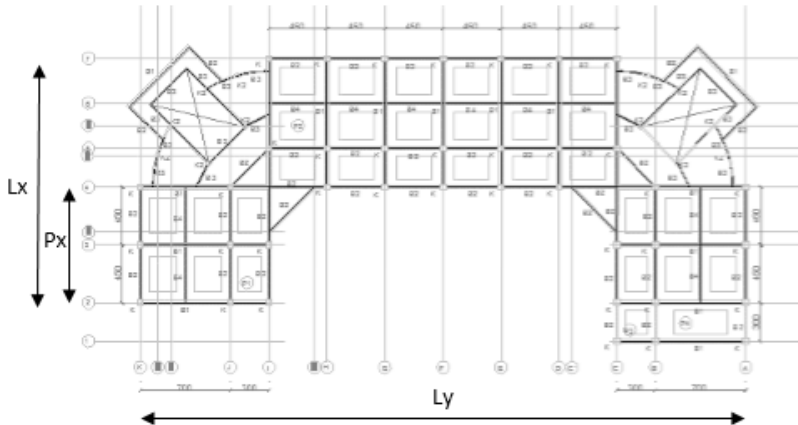
(PPIUG 1983 Tabel 4.1)

Jadi beban angin :

1. Di pihak angin = $0,9 \times 25 \text{ kg/m}^2 = 22,5 \text{ kg/m}^2$ (tekan)
2. Bidang atap lain = $-0,4 \times 25 \text{ kg/m}^2 = -10 \text{ kg/m}^2$ (hisap)

3.) Pembebanan Gempa

Ketidak Beraturan Sudut Dalam didefinisikan ada jika kedua proyeksi denah struktur dari sudut dalam lebih besar dari 15 persen dimensi denah struktur dalam arah yang ditentukan sehingga diperoleh:



Gambar 4.3.1.1 ketidakberaturan horizontal

$$L_x = 1900 \text{ cm}$$

$$P_x = 900 \text{ cm}$$

$P_x > 0,15L_x \rightarrow 900 \text{ cm} > 285 \text{ cm}$; sehingga termasuk bangunan tidak beraturan. Maka untuk beban gempa digunakan metode Respon Spektrum.

(Aplikasi SNI Gempa 1726:2012 Tabel 10, Tipe 2)

Direncanakan kedalaman ujung pondasi pada kedalaman 25meter dari permukaan tanah. Sehingga didapatkan nilai N dari data tanah sebagai berikut:

$$\bar{N} = \frac{N_1 + \bar{N}_2}{2}$$

(Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi cetakan Kedua)

Dengan:

\bar{N} = harga N rata-rata untuk perencanaan tanah pondasi pada ujung tiang.

N_1 = harga N pada ujung tiang

\bar{N}_2 = harga rata-rata N pada jarak $4D$ dari ujung tiang

Sehingga didapatkan nilai \bar{N} sebagai berikut:

$$\bar{N} = \frac{N_1 + \bar{N}_2}{2} = \frac{16 + \left(\frac{15 + 14 + 15 + 14}{4} \right)}{2} = 15,25$$

Karena nilai \bar{N} diantara 15-50, maka termasuk dalam tanah sedang (SD).

(SNI 1726:2012 Tabel 3)

Direncanakan bangunan berumur 10% dalam 50 tahun (Gempa 500 tahun).

Diketahui dari lokasi bangunan:

$$S_s = 0,3 g$$

(Peta Hazard Gempa Indonesia 2010, Gambar 2)

Karena $S_s = 0,3 g$ berada diantara $S_s < 0,25$ dengan $S_s = 0,5$ maka dilakukan interpolasi linier.

(SNI 1726:2012 Tabel 4)

Tabel 4.0.7 Perhitungan Nilai F_a secara interpolasi Linier

S_s	F_a
0,5	1,4
0,3	1,56
0,25	1,6

$$\begin{aligned} & \frac{0,5 - 0,25}{1,4 - 1,6} \\ &= \frac{0,3 - 0,25}{x - 1,6} \\ & \frac{0,25}{-0,2} = \frac{0,05}{x - 1,6} \\ & x = 1,56 \end{aligned}$$

$$S_i = 0,1 \text{ g}$$

(Peta Hazard Gempa Indonesia 2010, Gambar 3)

$$F_v = 3,5$$

(SNI 1726:2012 Tabel 5)

Koefisien situs

$$S_{MS} = F_a \times S_s = 1,56 \times 0,3 = 0,4 \text{ g}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 6.2)

$$S_{M1} = F_v \times S_1 = 3,5 \times 0,1 = 0,350 \text{ g}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 6.2)

Parameter percepatan spektral desain

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 6.3)

$$= \frac{2}{3} \times 0,4$$

$$= 0,3 \text{ g}$$

$$S_{D1} = \frac{2}{3} \times S_{M1}$$

(SNI 1726:2012 Pasal 6.3)

$$= \frac{2}{3} \times 0,350$$

$$= 0,2 \text{ g}$$

Spektrum respons desain

$$T_0 = 0,2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = 0,2 \frac{0,233}{0,3} = 0,15 \text{ detik}$$

$$T_s = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} = \frac{0,233}{0,3} = 0,748 \text{ detik}$$

$$T = C_t \cdot h_n^x$$

(SNI 1726:2012 Pasal 7.8.2.1)

$$T = 0,047 \cdot 15,1^{0,9}$$

(SNI 1726:2012 Tabel 15)

$$T = 0,541 \text{ detik}$$

Dari perhitungan diatas, maka termasuk kedalam persamaan:

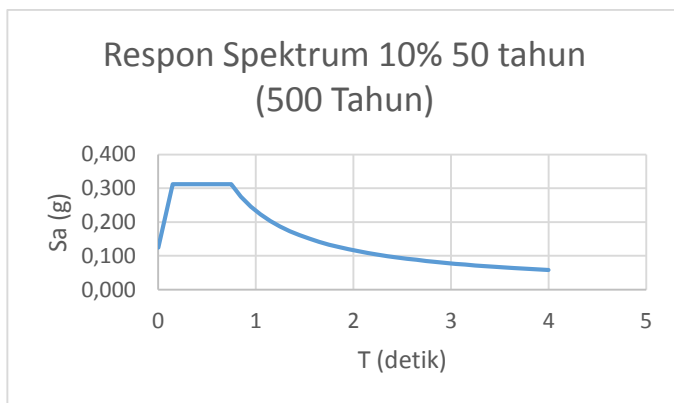
$$T_0 < T < T_s \rightarrow S_a = S_{DS} \quad \text{(SNI 1726:2012 Pasal 6.4)}$$

Sehingga didapatkan nilai $S_a = S_{DS} = 0,3 \text{ g}$

Tabel 4.0.8 Input Gempa ke-SAP

T	T	Sa
(detik)	(detik)	(g)
0	0	0,125
To	0,150	0,312
Ts	0,748	0,312
Ts+0,1	0,848	0,275
Ts+0,2	0,948	0,246
Ts+0,3	1,048	0,223
Ts+0,4	1,148	0,203
Ts+0,5	1,248	0,187
Ts+0,6	1,348	0,173
Ts+0,7	1,448	0,161
Ts+0,8	1,548	0,151
Ts+0,9	1,648	0,142
Ts+1,0	1,748	0,133
Ts+1,1	1,848	0,126
Ts+1,2	1,948	0,120
Ts+1,3	2,048	0,114
Ts+1,4	2,148	0,109
Ts+1,5	2,248	0,104
Ts+1,6	2,348	0,099
Ts+1,7	2,448	0,095
Ts+1,8	2,548	0,092
Ts+1,9	2,648	0,088
Ts+2,0	2,748	0,085
Ts+2,1	2,848	0,082

Ts+2,2	2,948	0,079
Ts+2,3	3,048	0,077
Ts+2,4	3,148	0,074
Ts+2,5	3,248	0,072
Ts+2,6	3,348	0,070
Ts+2,7	3,448	0,068
Ts+2,8	3,548	0,066
Ts+2,9	3,648	0,064
4	4,0	0,058



4.3.2 Perhitungan Tulangan Balok

Perhitungan tulangan balok B1 (45×65)cm AS elevasi ± 3,6 m. Berikut ini adalah data perencanaan balok berdasarkan gambar denah pembalokan, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000. Selanjutnya akan dihitung dengan metode SRPMM.

Data Perencanaan Balok :

Tipe balok	: B1
AS balok yang di tinjau	: L[3-14]
Bentang balok	: 10000 mm
Dimensi Balok (b balok)	: 450 mm
Dimensi Balok (h balok)	: 650 mm
Kuat Tekan Beton (f_c')	: 30 N/mm^2
Kuat Leleh Tul. Lentur (f_y)	: 420 N/mm^2
Kuat Leleh Tul. Geser (f_{yv})	: 320 N/mm^2
Kuat Leleh Tul. Puntir (f_{yt})	: 420 N/mm^2
Diameter Tulangan Lentur	: D 28
Diameter Tulangan Geser	: $\emptyset 12$
Diameter Tulangan Puntir	: $\emptyset 16$
Jarak Spasi Tul. Sejajar	: 25 mm
Tebal selimut beton (t decking)	: 40 mm

(SNI 2847:2013, Pasal 7.7.1 (c))

Faktor β_1	: 0,85
Faktor reduksi kekuatan lentur	: 0,8
Faktor reduksi kekuatan geser	: 0,75
Faktor reduksi kekuatan puntir	: 0,75

Maka, tinggi efektif balok:

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \emptyset_{\text{tul. sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tul. lentur}} \\
 &= 650\text{mm} - 40\text{mm} - 12\text{mm} - \frac{1}{2} 28\text{mm} \\
 &= 584 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

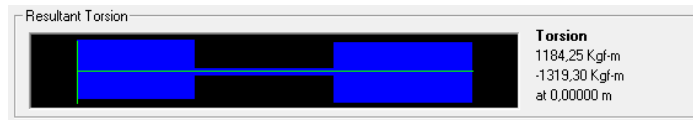
$$\begin{aligned}
 d' &= \text{decking} + \emptyset_{\text{tul. sengkang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tul. lentur}} \\
 &= 40\text{mm} + 12\text{mm} + \frac{1}{2} 28\text{mm} = 66 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hasil output dan diagram dari analisa SAP 2000

Untuk perhitungan tulangan puntir dicari frame pada SAP 2000 dengan momen paling besar. Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

Hasil Output Torsi

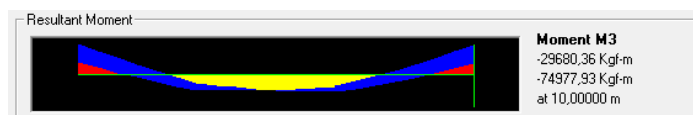
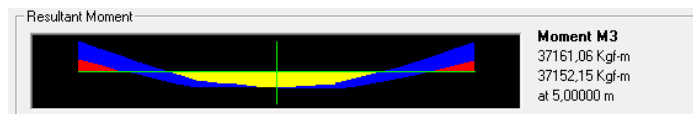
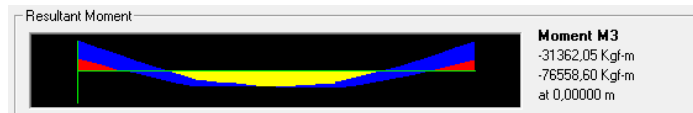
Kombinasi : 1,2D+1L+1Ey+0,3Ex



Momen Puntir : 13193000 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Lentur

Kombinasi : 1,2D+1L+1Ey+0,3Ex



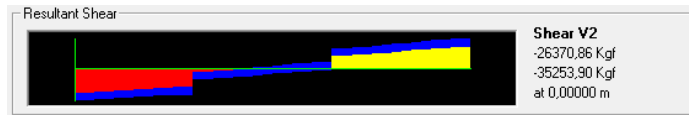
Momen Tumpuan Kiri : -765586000 Nmm

Momen Lapangan : 371610600 Nmm

Momen Rumpuan Kanan : -749779300 Nmm

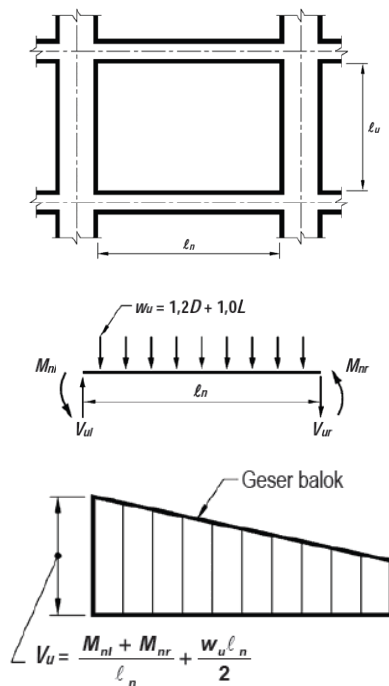
Hasil Output Diagram Gaya Geser

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat beban kombinasi 1,2D+1L+1Ey+0,3Ex didapatkan gaya geser terfaktor



$V_u = -352539 \text{ N}$ (V_u diambil tepat pada muka kolom)

Ketentuan perhitungan tulangan balok menggunakan metode SRPMM dihitung berdasarkan SNI 2847:2013



Gambar 4-0-3 Gaya Lintang Balok pada SRPMM

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser, lentur dan puntir. Ukuran balok yang dipakai = 45/65

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 450\text{mm} \times 650\text{mm} = 292500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (450\text{mm} + 650\text{mm}) = 2200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi AS tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \times t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \times t_{decking} - \phi_{geser}) \\ &= (450\text{mm} - 2 \times 40\text{mm}) \times (650\text{mm} - 2 \times 40\text{mm} - 12\text{mm}) \\ &= 199764 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi AS tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \times t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2 \times t_{decking} - \phi_{geser})] \\ &= 2 \times [(450 - 2 \times 40\text{mm} - 12\text{mm}) + (650\text{mm} - 2 \times 40\text{mm} - 12\text{mm})] \\ &= 1832 \text{ mm} \end{aligned}$$

1. Perhitungan Tulangan Puntir

Berdasarkan output SAP 2000 diperoleh momen puntir.

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi: 1,2D+1L+1Ey+0,3Ex

$$T_u = 13193000 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$T_n \geq \frac{T_u}{\phi} \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.5.3.5})$$

$$T_n = \frac{13193000 \text{ Nmm}}{0,75} = 17590666,7 \text{ Nmm}$$

Geser Ultimate

Akibat kombinasi: 1,2D+1L+1Ey+0,3Ex

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari

$$T_{u_{min}} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.5.1 (a)})$$

$$T_{u_{min}} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_{u_{min}} = 0,75 \times 0,083 \times 1 \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \left(\frac{(292500 \text{ mm}^2)^2}{2200 \text{ mm}} \right) = 13259557,9 \text{ Nmm}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

$T_u < T_{u_{min}}$ maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_{u_{min}}$ maka memerlukan tulangan puntir

$$T_u = 13193000 \text{ Nmm} < T_{u_{min}} = 13259557,9 \text{ Nmm} \quad (\text{tidak memerlukan tulangan puntir})$$

Dari perhitungan pengaruh momen puntir tidak memerlukan tulangan puntir, namun karena h balok lebih dari 30 cm dipasang tulangan puntir dengan jumlah minimum.

2. Perhitungan Tulangan LenturGaris Netral Dalam Kondisi Balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= \frac{600}{600+420} \times 584 \text{ mm} = 343,5 \text{ mm}$$

Garis Netral Maksimum

$$\begin{aligned} X_{max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 343,5 \text{ mm} \\ &= 257,65 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Minimum

$$\begin{aligned} X_{min} &= d' \\ &= 66 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis Netral Rencana

$$\begin{aligned} X_{rencana} &= 0,65 \times X_b \\ &= 0,65 \times 343,5 \text{ mm} \\ &= 224 \text{ mm} \end{aligned}$$

Komponen Beton Tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana} \\ &= 0,85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 450 \text{ mm} \times 0,85 \times 224 \text{ mm} \\ &= 2184840 \text{ N} \end{aligned}$$

Luas Tulangan Lentur Gaya Tarik Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} Asc &= \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 450 \text{ mm} \times 0,85 \times 224 \text{ mm}}{420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \\ &= 5202 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} Mnc &= Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_{rencana}}{2} \right) \\ &= 5202 \text{ mm}^2 \times 420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times \left(584 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 224 \text{ mm}}{2} \right) \\ &= 1067949792 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

a. Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:
1,2D+1L+1Ey+0,3Ex

$$M_{u \text{ tumpuan}} = 765586000 \text{ Nmm}$$

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{u \text{ tumpuan}}}{\phi} \\
 &= \frac{765586000 \text{ Nmm}}{0,8} \\
 &= 956982500 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat:

$M_{ns} \geq 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 956982500 \text{ Nmm} - 1067949792 \text{ Nmm} \\
 &= -110967292 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_{ns} = -110967292 \text{ Nmm} < 0$$

(tidak perlu tul. lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perencanaan tulangan tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{956982500 \text{ Nmm}}{450 \text{ mm} \times (584 \text{ mm})^2} = 6,24$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (\text{SNI } 2847:2013,$$

Lampiran B.8.4.2)

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{420 \text{ N/mm}^2} \left(\frac{600}{600 + 420 \text{ N/mm}^2} \right) = 0,03$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b \quad (\text{SNI } 2847:2013,$$

Lampiran B.10.3.3)

$$= 0,75 \times 0,03 = 0,0228$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420 \text{ N/mm}^2} = 0,0033$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\
 &= \frac{420 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 16,47 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 6,24}{420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right) \\
 &= 0,017
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0033 &< 0,017 < 0,022 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d \\
 &= 0,017 \times 450 \text{ mm} \times 584 \text{ mm} \\
 &= 4550,48 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi (28 \text{ mm})^2 \\
 &= 615,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Pasang

Luasan tulangan perlu tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok (top)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\
 &= 4550,48 \text{ mm}^2 + 0 \\
 &= 4550,48 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}} \\
 &= \frac{4550,48 \text{ mm}^2}{615,75 \text{ mm}^2}
 \end{aligned}$$

$$= 7,4 \text{ buah}$$

$$\approx 8 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 As \text{ pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\
 &= 8 \times 615,75 \text{ mm}^2 \\
 &= 4926,02 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$As \text{ pasang} = 4926,02 \text{ mm}^2 > As \text{ perlu} = 4550,48 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Luasan tulangan perlu tekan+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok (bottom). Karena tidak memerlukan tulangan puntir, sehingga luasan tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok = 0. Dipasang tulangan 2D28, dengan As' pasang= 1231,5 mm².

Kontrol

$$As' \text{ pasang} = 1231,5 \text{ mm}^2 > As' \text{ perlu} = 0 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

Syarat:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\
 S_{maks} &\leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 4D28 dan tulangan tekan 1 lapis 2D28.

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{\text{lentur}})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\
 &= \frac{450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (8 \times 28 \text{ mm})}{8 - 1} \\
 &= 17,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 17,4 \text{ mm} < S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\
 &= \frac{450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (2 \times 28 \text{ mm})}{2 - 1} \\
 &= 194 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 194 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (45/65) As L[3-14] untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan Lentur Tarik susun lebih dari 1 lapis = 8D28

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D28

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur \text{ tumpuan}(+) } \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan}(-)}$$

(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned}
 A_{spasang} &= 8D28 \\
 &= 8 \times 0,25 \times 3,14 \times (28 \text{ mm})^2 \\
 &= 4926,02 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s' \text{ pasang}} &= 2D28 \\
 &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (28 \text{ mm})^2 \\
 &= 1231,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$M_{lentur \text{ tumpuan}(+) } \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan}(-)}$$

$$4926,02 \text{ mm}^2 \geq \frac{1}{3} \times 1231,5 \text{ mm}^2$$

$$4926,02 \text{ mm}^2 \geq 410,5 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 8D28

Tulangan tekan : 2D28

Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s_{pakai}} \text{ tulangan tarik} \quad 8D28 = 4926,02 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b}$$

$$= \frac{4926,02 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

$$= 180,299 \text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_c' \times a$$

$$= 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 180,299 \text{ mm}$$

$$= 2068931 \text{ N}$$

$$Cs' = A_{s_{pakai}} \times f_y$$

$$= 4926,02 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2$$

$$= 2068928 \text{ N}$$

$$Mn = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d'))$$

$$= \left(2068931 \text{ N} \times \left(584 \text{ mm} - \frac{180,299 \text{ mm}}{2} \right) \right) +$$

$$(2068928 \text{ N} \times (584 \text{ mm} - 66 \text{ mm}))$$

$$= 2093447313 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$\theta Mn \geq Mu$$

$$0,8 \times 2093447313 \text{ Nmm} > 401728300 \text{ Nmm}$$

$$1674757850 \text{ Nmm} > 401728300 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

$$As_{pakai} \text{ tulangan tekan} \quad 2D28 = 1231,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1231,5 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}} \\ &= 45,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\ &= 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 45,07 \text{ mm} \\ &= 517178,25 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= As_{pakai} \times f_y \\ &= 1231,5 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 \\ &= 517178,25 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\ &= \left(517178,25 \text{ N} \times \left(589 \text{ mm} - \frac{45,07 \text{ mm}}{2} \right) \right) + \\ &\quad (517178,25 \text{ N} \times (589 \text{ mm} - 61 \text{ mm})) \\ &= 566033493,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\theta M n_{pasang} > M_u$$

$$0,8 \times 566033493,4 \text{ Nmm} > 58476840 \text{ Nmm}$$

$$452826794,7 \text{ Nmm} > 58476840 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok B1 (45/65) As L[3-14] untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan Lentur Tarik susun lebih dari 1 lapis = 8 D28

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D28

b. Daerah Tumpuan Kanan

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:
1,2D+1L+1Ey+0,3Ex

$$M_{u \text{ tumpuan}} = 749779300 \text{ Nmm}$$

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{u \text{ tumpuan}}}{\phi} \\ &= \frac{749779300 \text{ Nmm}}{0,8} \\ &= 9372724125 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat:

$M_{ns} \geq 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 9372724125 \text{ Nmm} - 1067949792 \text{ Nmm} \\ &= -130725667 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_{ns} = -130725667 \text{ Nmm} < 0$$

(tidak perlu tul. lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perencanaan tulangan tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{9372724125 \text{ Nmm}}{450 \text{ mm} \times (584 \text{ mm})^2} = 6,11$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{420 \text{ N/mm}^2} \left(\frac{600}{600 + 420 \text{ N/mm}^2} \right) = 0,03$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)

$$= 0,75 \times 0,03 = 0,0228$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420 \text{ N/mm}^2} = 0,0033$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{420 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 16,47$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 6,11}{420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right) \\ &= 0,017 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0033 < 0,017 < 0,022 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{pakai} \times b \times d \\ &= 0,017 \times 450 \text{ mm} \times 584 \text{ mm} \\ &= 4550,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\ &= \frac{1}{4} \pi (28 \text{ mm})^2 \end{aligned}$$

$$= 615,75 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Pasang

Luasan tulangan perlu tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok (top)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\ &= 4550,48 \text{ mm}^2 + 0 \\ &= 4550,48 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}}$$

$$= \frac{4550,48 \text{ mm}^2}{615,75 \text{ mm}^2}$$

$$= 7,4 \text{ buah}$$

$$\approx 8 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\ &= 8 \times 615,75 \text{ mm}^2 \\ &= 4926,02 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 4926,02 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = \\ &4550,48 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu tekan+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok (bottom). Karena tidak memerlukan tulangan puntir, sehingga luasan tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok = 0. Dipasang tulangan 2D28, dengan A_s' pasang= 1231,5 mm².

Kontrol

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= 1231,5 \text{ mm}^2 > A_s' \text{ perlu} = 0 \text{ mm}^2 \\ &\text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 4D28 dan tulangan tekan 1 lapis 2D28.

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (8 \times 28 \text{ mm})}{8 - 1} \\ &= 17,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 17,4 \text{ mm} < S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{susun lebih dari 1 lapis}$$

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (2 \times 28 \text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 194 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 194 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (45/65) As L[3-14] untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan Lentur Tarik susun lebih dari 1 lapis = 8D28

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D28

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{\text{lentur tumpuan}(+) } \geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}(-)}$$

(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= 8D28 \\ &= 8 \times 0,25 \times 3,14 \times (28\text{mm})^2 \\ &= 4926,02 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{\text{pasang}}} &= 2D28 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (28\text{mm})^2 \\ &= 1231,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{lentur tumpuan}(+) } &\geq \frac{1}{3} \times M_{\text{lentur tumpuan}(-)} \\ 4926,02 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 1231,5 \text{ mm}^2 \\ 4926,02 \text{ mm}^2 &\geq 410,5 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

$$\begin{array}{ll} \text{Tulangan tarik} & : 8D28 \\ \text{Tulangan tekan} & : 2D28 \end{array}$$

Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s_{\text{pakai tulangan tarik}}} \quad 8D28 \quad = 4926,02 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{4926,02 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}} \\ &= 180,299 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times b \times f_{c'} \times a \\
 &= 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 180,299 \text{ mm} \\
 &= 2068931 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs' &= A_{s_{pakai}} \times f_y \\
 &= 4926,02 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 2068928 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\
 &= \left(2068931 \text{ N} \times \left(584 \text{ mm} - \frac{180,299 \text{ mm}}{2} \right) \right) + \\
 &\quad (2068928 \text{ N} \times (584 \text{ mm} - 66 \text{ mm})) \\
 &= 2093447313 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\theta Mn \geq Mu$$

$$0,8 \times 2093447313 \text{ Nmm} > 401728300 \text{ Nmm}$$

$$1674757850 \text{ Nmm} > 401728300 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

$$A_{s_{pakai}} \text{ tulangan tekan} \quad 2D28 = 1231,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_{c'} \times b} \\
 &= \frac{1231,5 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}} \\
 &= 45,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times f_{c'} \times a$$

$$= 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 45,07 \text{ mm}$$

$$= 517178,25 \text{ N}$$

$$Cs' = As_{pakai} \times fy$$

$$= 1231,5 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2$$

$$= 517178,25 \text{ N}$$

$$Mn = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d'))$$

$$= \left(517178,25 \text{ N} \times \left(589 \text{ mm} - \frac{45,07 \text{ mm}}{2} \right) \right) + \\ (517178,25 \text{ N} \times (589 \text{ mm} - 61 \text{ mm}))$$

$$= 566033493,4 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$\theta Mn_{pasang} > Mu$$

$$0,8 \times 566033493,4 \text{ Nmm} > 58476840 \text{ Nmm}$$

$$452826794,7 \text{ Nmm} > 58476840 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok B1 (45/65) As L[3-14] untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan Lentur Tarik susun lebih dari 1 lapis = 8 D28

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D28

c. Daerah Lapangan

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:

$$1,2D+1L+1Ey+0,3Ex$$

$$Mu_{lapangan} = 371610600 \text{ Nmm}$$

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_{u \text{ tumpuan}}}{\phi} \\
 &= \frac{371610600 \text{ Nmm}}{0,8} \\
 &= 464513250 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat:

$M_{ns} \geq 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 464513250 \text{ Nmm} - 5199162758790 \text{ Nmm} \\
 &= -63652313 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$M_{ns} = -63652313 \text{ Nmm} \leq 0$ (tidak perlu tul. lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perencanaan tulangan tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{464513250 \text{ Nmm}}{450 \text{ mm} \times (589 \text{ mm})^2} = 3,03 \\
 \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2}) \\
 &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{420 \text{ N/mm}^2} \left(\frac{600}{600 + 420 \text{ N/mm}^2} \right) = 0,03 \\
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_b \quad (\text{SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3}) \\
 &= 0,75 \times 0,03 = 0,0228 \\
 \rho_{\min} &= \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420 \text{ N/mm}^2} = 0,0033 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{420 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 16,47 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 3,03}{420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right) \\
 &= 0,008
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &< \rho < \rho_{max} \\
 0,0033 &< 0,008 < 0,022 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{pakai} \times b \times d \\
 &= 0,008 \times 450 \text{ mm} \times 589 \text{ mm} \\
 &= 2021,92 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi (28 \text{ mm})^2 \\
 &= 615,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Pasang

Luasan tulangan perlu tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok (top)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\
 &= 2021,92 \text{ mm}^2 + 0 \\
 &= 2021,92 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}} = \frac{2021,92 \text{ mm}^2}{615,75 \text{ mm}^2} = 3,3 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\
 &= 4 \times 615,75 \text{ mm}^2 \\
 &= 2463 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= 2463 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = 2013,97 \text{ mm}^2 \\
 &\text{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu tekan+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi bawah balok (bottom). Karena tidak memerlukan tulangan puntir, sehingga luasan tulangan lentur tekan bagian sisi bawah balok = 0. Dipasang tulangan 2D28, dengan $As' \text{ pasang} = 1231,5 \text{ mm}^2$.

Kontrol

$As' \text{ pasang} = 1231,5 \text{ mm}^2 > As' \text{ perlu} = 0 \text{ mm}^2$
(memenuhi)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur tarik 1 lapis 4D28 dan tulangan tekan 1 lapis 2D28.

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (6 \times 28 \text{ mm})}{4 - 1} \\ &= 60,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 60,67 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Kontrol Tulangan Tekan

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (2 \times 28 \text{ mm})}{2 - 1} \\ &= 194 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 194 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur balok B1 (45/65) As L[3-14] untuk daerah lapangan:

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D28

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D28

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur tumpuan}(-) \quad (SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)$$

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned} A_{spasang} &= 4D28 \\ &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (28\text{mm})^2 \\ &= 2463 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s' pasang} &= 2D28 \\ &= 2 \times 0,25 \times 3,14 \times (28\text{mm})^2 \\ &= 1231,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lentur tumpuan}(+) &\geq \frac{1}{3} \times M_{lentur tumpuan}(-) \\ 2463 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 1231,5 \text{ mm}^2 \\ 2463 \text{ mm}^2 &\geq 410,5 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan:

Tulangan tarik : 4D28

Tulangan tekan : 2D28

Kontrol kemampuan penampang

$$A_{spakai} \text{ tulangan tarik} \quad 4D28 = 2463 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{2463 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}} \\ &= 90,149 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\ &= 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 90,149 \text{ mm} \\ &= 1034463,629 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= A_{spakai} \times f_y \\ &= 2463 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 \\ &= 1034463,629 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + \left(Cs' \times (d - d') \right) \\ &= \left(1034463,629 \text{ N} \times \left(589 \text{ mm} - \frac{90,149 \text{ mm}}{2} \right) \right) + \\ &\quad \left(1034463,629 \text{ N} \times (589 \text{ mm} - 61 \text{ mm}) \right) \\ &= 1099557596 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\theta Mn \geq Mu$$

$$0,8 \times 1099557596 \text{ Nmm} > 401728300 \text{ Nmm}$$

$$1684687187 \text{ Nmm} > 401728300 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

$$A_{s_{pakai}} \text{ tulangan tekan } 2D28 = 1231,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{1231,5 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}} \\ &= 45,07 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\ &= 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 45,07 \text{ mm} \\ &= 517178,25 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cs' &= A_{s_{pakai}} \times f_y \\ &= 1231,5 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 \\ &= 517178,25 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\ &= \left(517178,25 \text{ N} \times \left(589 \text{ mm} - \frac{45,07 \text{ mm}}{2} \right) \right) + \\ &\quad (517178,25 \text{ N} \times (589 \text{ mm} - 61 \text{ mm})) \\ &= 566033493,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\theta Mn_{pasang} > Mu$$

$$0,8 \times 566033493,4 \text{ Nmm} > 58476840 \text{ Nmm}$$

$$452826794,7 \text{ Nmm} > 58476840 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok B1 (45/65) As L[3-14] untuk daerah lapngan:

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D28

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D28

Perhitungan penyaluran tulangan balok B1

Tarik dan tekan yang dihitung pada tulangan disetiap penampang komponen struktur beton harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang tersebut melalui panjang penanaman, kait, batang ulir berkepala (*headed deformed bar*) atau alat mekanis atau kombinasi darinya. Kait kepala (*heads*) tidak boleh digunakan untuk menyalurkan batang tulangan dalam kondisi tekan.

(SNI 2847:2013, Pasal 12.1.1)

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik, l_d harus ditentukan sesuai tabel dibawah ini atau dengan $l_d = \left(\frac{fy}{1,1\lambda\sqrt{fc'}} \times \frac{\psi_t\psi_e\psi_s}{\left(\frac{c_b+K_{tr}}{d_b}\right)} \right)$ tapi l_d tidak boleh kurang dari 300 mm.

(SNI 2847:2013, Pasal 12.2.1)

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang l_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b	$\left(\frac{f_y\psi_t\psi_e}{2,1\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y\psi_t\psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_y\psi_t\psi_e}{1,4\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y\psi_t\psi_e}{1,3\lambda\sqrt{f'_c}} \right) d_b$

(SNI 2847:2013, Pasal 12.2.2)

Digunakan persamaan

$$l_d = \left(\frac{f_y \times \psi_t \times \psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'c'}} \right) d_b$$

Dengan:

$$\psi_t = 1,3 \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 12.2.4(a)})$$

$$\psi_e = 1 \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 12.2.4(b)})$$

$$\lambda = 1 \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 12.2.4(d)})$$

$$d_b = 28 \text{ mm}$$

$$l_d = \left(\frac{f_y \times \psi_t \times \psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'c'}} \right) d_b$$

$$l_d = \left(\frac{420 \frac{N}{mm^2} \times 1,3 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{N}{mm^2}}} \right) 28 \text{ mm}$$

$$l_d = 1641,879 \text{ mm}$$

Cek syarat:

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$1641,879 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{memenuhi}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih)

$$l_{d \text{ reduksi}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ pasang}}} \times l_d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 12.2.5)

$$l_{d \text{ reduksi}} = \frac{4551,615 \text{ mm}}{4926,017 \text{ mm}} \times 1641,879 \text{ mm}$$

$$= 1517,088 \text{ mm} \approx 1600 \text{ mm}$$

maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1600 mm.

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

$$l_{dh} = \frac{\left(\frac{0,24 \times \psi_e \times f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right)}{d_b}$$

$$= \left(\frac{0,24 \times \psi_e \times f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) \times d_b$$

Dengan:

$$\psi_e \text{ dan } \lambda = 1$$

(SNI 2847:2013, Pasal 12.5.2)

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \times 1 \times 420 \frac{N}{mm^2}}{1 \sqrt{30 \frac{N}{mm^2}}} \right) \times 28 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 515,297 \text{ mm}$$

Cek syarat:

$$l_{dh} \geq 8d_b \quad \textbf{(SNI 2847:2013, Pasal 12.5.1)}$$

$$515,297 \text{ mm} \geq 8 \times 28 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{memenuhi}$$

$$l_{dh} \geq 224 \text{ mm} \quad \textbf{(SNI 2847:2013, Pasal 12.5.1)}$$

$$515,297 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{memenuhi}$$

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times fy) \times d_b$$

(SNI 2847:2013, Pasal 12.3.2)

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times fy}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times 420 \text{ N/mm}^2}{1 \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2}} \right) 28 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 515,297 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0,043 \times fy) \times d_b$$

$$l_{dc} = \left(0,043 \times 420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right) \times 28 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 505,68 \text{ mm}$$

Dipilih yang terbesar, sehingga $l_{dc} = 515,297 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih)

$$l_{dc \text{ reduksi}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ pasang}}} \times l_{dc}$$

(SNI 2847:2013, Pasal 12.3.3)

$$l_{dc \text{ reduksi}} = \frac{4551,615 \text{ mm}}{4926,017 \text{ mm}} \times 515,297 \text{ mm}$$

$$= 476,13 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$$

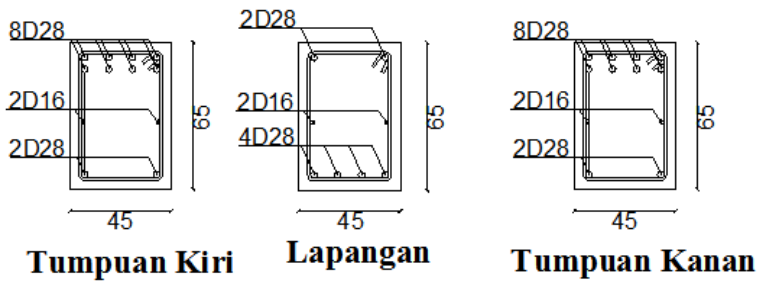
maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan 500mm.

Cek syarat:

$$l_{dc} \geq 200 \text{ mm}$$

$$500 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm}$$

→memenuhi



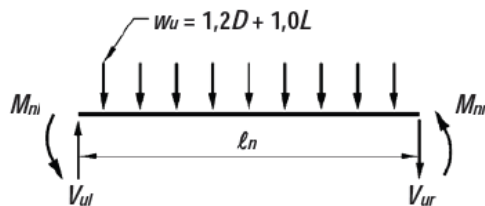
Gambar 0-4 Penulangan Lentur Balok B1

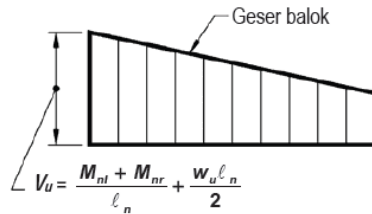
3. Perhitungan Tulangan Geser

Data Perencanaan balok sebagai berikut:

f_c'	= 30 N/mm ²
f_y	= 320 N/mm ²
β_1	= 0,85
ϕ_{reduksi}	= 0,75
Lebar	= 450 mm
Tinggi	= 650 mm
ϕ_{sengkang}	= 12 mm

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada B1 (45/65) As L[3-14], didapat:





Gambar 4-0-52 Peerencanaan Geser untuk Balok SRPMM

Gaya geser terfaktor = 352539 N

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.3.1 (a))

Dimana:

V_{u1} : gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

l_n : panjang balok bersih

$$\begin{aligned} M_{nl} &= \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + \left(Cs' \times (d - d') \right) \\ &= \left(2068931 \text{ N} \times \left(584 \text{ mm} - \frac{180,299 \text{ mm}}{2} \right) \right) + \\ &\quad (2068928 \text{ N} \times (584 \text{ mm} - 66 \text{ mm})) \\ &= 2093447313 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nr} &= \left(C c' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + (C s' \times (d - d')) \\
 &= \left(517178,25 \text{ N} \times \left(589\text{mm} - \frac{45,07 \text{ mm}}{2} \right) \right) + \\
 &\quad (517178,25 \text{ N} \times (589\text{mm} - 61\text{mm})) \\
 &= 566033493,4 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u \\
 &= \frac{2\,093\,447\,313 \text{ Nmm} + 566\,033\,493,4 \text{ Nmm}}{9600 \text{ mm}} + 352539 \text{ N} \\
 &= 629568,25 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f c'} \times b \times d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1)

Dengan:

$$\lambda = 1, \text{ untuk beton normal}$$

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f c'} \times b \times d \\
 &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times 450\text{mm} \times 584\text{mm} \\
 &= 244701 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$V_{s_{min}} = \frac{1}{3} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{3} \times 450\text{mm} \times 584\text{mm}$$

$$= 87600 \text{ N}$$

$$V_{s_{max}} = \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$= \frac{1}{3} \times \sqrt{30\text{N/mm}^2} \times 450\text{mm} \times 584\text{mm}$$

$$= 479805 \text{ N}$$

$$2V_{s_{max}} = \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d$$

$$= \frac{2}{3} \times \sqrt{30\text{N/mm}^2} \times 450\text{mm} \times 584\text{mm}$$

$$= 959609,9 \text{ N}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

Wilayah balok dibagi menjadi 2 wilayah, yaitu:

- a.) Wilayah tumpuan seperempat bentang bersih balok dari muka kolom.
- b.) Wilayah lapangan dimulai dari akhir wilayah tumpuan sampai ketengah bentang balok.

Penulangan Geser Balok***a.) Wilayah Tumpuan***

$$V_u = 629568,25 \text{ N}$$

Cek Kondisi:

Kondisi Geser 1

$$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$$629568,25 \text{ N} \leq 91762,87 \text{ N} \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

Kondisi Geser 2

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$91762,87 \text{ N} \leq 629568,25 \text{ N} \leq 183525,75 \text{ N} (\text{Tidak memenuhi})$$

Kondisi Geser 3

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{min}}) \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$183525,75 \text{ N} \leq 629568,25 \text{ N} \leq 249225,75 \text{ N} (\text{Tidak memenuhi})$$

Kondisi Geser 4

$$\emptyset (V_c + V_{s_{min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{max}}) \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$249225,75 \text{ N} \leq 629568,25 \text{ N} \leq 543379,5 \text{ N} (\text{tidak memenuhi})$$

Kondisi Geser 5

$$\emptyset (V_c + V_{s_{max}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + 2V_{s_{max}}) \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$543379,5 \text{ N} \leq 629568,25 \text{ N} \leq 903233,17 \text{ N} (\text{memenuhi})$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 5.

$$\begin{aligned}
 V_{S_{perlu}} &= \frac{Vu - \emptyset Vc}{\emptyset} \\
 &= \frac{629568,25 \text{ N} - 183525,75 \text{ N}}{0,75} \\
 &= 491205 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12mm, maka luasan tulangan geser:

$$\begin{aligned}
 Av &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (12\text{mm})^2 \\
 &= 226,19 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned}
 S_{perlu} &= \frac{Av \times f_y \times d}{V_{S_{perlu}}} \\
 &= \frac{226,19 \text{ mm}^2 \times 320 \text{ N/mm}^2 \times 12 \text{ mm}}{491205 \text{ N}} \\
 &= 86,06 \text{ mm, dipakai } 85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4

$$S_{max} \leq \frac{d}{4} \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.2})$$

$$85 \text{ mm} \leq \frac{584 \text{ mm}}{4}$$

$$90 \text{ mm} \leq 146,5 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{max} \leq 300$$

$$85 \text{ mm} \leq 300 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 12 - 85mm$.

b.) Wilayah Lapangan

$$V_{u2} = \frac{V_{u1} \times (\frac{1}{2}ln - \frac{1}{4}ln)}{\frac{1}{2}ln} =$$

$$\frac{551929 N \times (4800mm - 2400mm)}{4800 mm}$$

$$= 275965 N$$

Cek Kondisi:

Kondisi Geser 1

$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tidak perlu tulangan geser

$275965N \leq 91762,87 N$ (tidak memenuhi)

Kondisi Geser 2

$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow$ Tulangan geser minimum

$91762,87N \leq 275965N \leq 183525,75 N$
(tidak memenuhi)

Kondisi Geser 3

$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{smin}) \rightarrow$ Tulangan geser minimum

$183525,75 N \leq 275965N \leq 249225,75N$
(memenuhi)

Kondisi Geser 4

$\emptyset(V_c + V_{smin}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{smax}) \rightarrow$ Perlu tulangan geser

$$249225,75N \leq 275965N \leq 543379,5N \quad (\text{tidak memenuhi})$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$\begin{aligned} V_{S_{perlu}} &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{275965 \text{ N} - 183525,75 \text{ N}}{0,75} \\ &= 123252 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10mm, maka luasan tulangan geser:

$$\begin{aligned} A_v &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (12\text{mm})^2 \\ &= 226,19 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{perlu} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_{S_{perlu}}} \\ &= \frac{226,19\text{mm}^2 \times 320\text{N/mm}^2 \times 12\text{mm}}{123252 \text{ N}} \\ &= 342,97 \text{ mm}, \text{ dipakai } 145 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4

$$S_{max} \leq \frac{d}{2} (\text{SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.2})$$

$$110 \text{ mm} \leq \frac{586 \text{ mm}}{2}$$

$$145 \text{ mm} \leq 293 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{max} \leq 300$$

$$145 \text{ mm} \leq 300 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 12 - 145 \text{ mm}$.

Tabel 0.9 Penulangan Balok

<i>Tipe Balok</i>	<i>As</i>	<i>Penulangan</i>		
Balok B1 45/65	K(4-15); L(4-15); M(4-15); N(4-15); O(4-15)	Lentur	Tarik	Tekan
		<i>Tumpuan Kiri</i>	8D28	2D28
		<i>Tumpuan Kanan</i>	8D28	2D28
		<i>Lapangan</i>	4D28	2D28
		Geser	Tumpuan	Lapangan
			$\emptyset 12-85$	$\emptyset 12-145$
		Torsi	2D16	2D16
Balok B2 35/50	A(2-3); A(3-4); G(2-3); G(3-4); 4(G-K); 4(K-L); 4(L-M); 4(M-N); 4(N-O); 4(O-Q); 15(J-K); 15(K-L); 15(L-M); 15(M-N); 15(N-O);	Lentur	Tarik	Tekan
		<i>Tumpuan Kiri</i>	3D28	2D28
		<i>Tumpuan Kanan</i>	5D28	2D28
		<i>Lapangan</i>	2D28	2D28
		Geser	Tumpuan	Lapangan
			$\emptyset 12-105$	$\emptyset 12-105$
		Torsi	2D16	2D16

	15(O-P); Q(1-2); Q(2-3); Q(3-4); T(1-2); T(2-3); T(3-4)			
Balok B3 20/30	2(A-G); 2(G-J); 3(A-G); 3(G-J); 4(A-G); J(2-3); J(3-7); J(7-15); P(2-3); P(3-7); P(7-15); 1(P-Q); 1(Q-T); 2(P-Q); 2(Q-T); 3(P-Q); 3(Q-T); 4(Q-T)	Lentur	Tarik	Tekan
		<i>Tumpuan Kiri</i>	2D28	2D28
		<i>Tumpuan Kanan</i>	2D28	2D28
		<i>Lapangan</i>	2D28	2D28
		Geser	Tumpuan	Lapangan
			ø12-55	ø12-55
		Torsi	2D16	2D16
Balok B4 20/35	(4-6); (6-9); (11-14); (9-11); (9-5); (12-13); (13-J); (G-J); (F-I); (I-E); (E-G); (I-J); (P-Q); (P-9)	Lentur	Tarik	Tekan
		<i>Tumpuan Kiri</i>	2D28	2D28
		<i>Tumpuan Kanan</i>	2D28	2D28
		<i>Lapangan</i>	2D28	2D28
		Geser	Tumpuan	Lapangan
			ø12-70	ø12-70
		Torsi	-	-
Balok B5 20/25	10(J-K);10(K-L);10(L-M);10(M-N);10(N-O);10(O-P);D(1-	Lentur	Tarik	Tekan
		<i>Tumpuan Kiri</i>	4D22	2D22
		<i>Tumpuan Kanan</i>	2D22	2D22

Balok Bordes 20/25	2);D(2-3);R(1-2);R(2-3)	<i>Lapangan</i>	2D22	2D22
		Geser	Tumpuan	Lapangan
			ø10-45	ø10-45
		Torsi	2D10	2D10
		Lentur	Tarik	Tekan
		<i>Tumpuan Kiri</i>	2D22	2D22
		<i>Tumpuan Kanan</i>	2D22	2D22
		<i>Lapangan</i>	2D22	2D22
		Geser	Tumpuan	Lapangan
			ø10-45	ø10-45
		Torsi	-	-

4.3.3 Perhitungan Tulangan Kolom

Perhitungan tulangan Kolom ditinjau berdasarkan aksial terbesar, momen terbesar. Untuk kolom K1 (50x50)cm² pada as L-4 yang ditinjau akibat momen arah Y terbesar. Berikut ini adalah data perencanaan kolom berdasarkan gambar denah kolom, hasil output diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000. Selanjutnya akan dihitung dengan metode SRPMM.

- Data Perencanaan :
 - Lebar (b) : 500 mm
 - Tinggi kolom (h) : 500 mm
 - Tebal selimut beton : 40 mm
 - Kuat tekan beton (fc') : 30 MPa
 - Modulus elastisitas baja (Es) : 200000 MPa
 - Fy lentur : 420 MPa
 - Fy geser : 320 MPa
 - Ø lentur : 28 mm
 - Ø geser : 10 mm

- Jarak spasi tulangan sejajar : 40 mm
(SNI 2847-2013 pasal 7.6.3)
- Faktor β_1 : 0,8
(SNI 2847-2013 pasal 10.2.7.(1))
- Faktor reduksi kekuatan lentur (ϕ) : 0,65
(SNI 2847-2013 pasal 9.3.2.1(b))
- Faktor reduksi kekuatan geser (ϕ) : 0,75
(SNI 2847-2013 pasal 9.3.2.(3))

Berdasarkan output SAP2000 pada frame 865 didapat gaya aksial berikut :

$$\begin{aligned} P_D &= 886261,31 \text{ N} \\ P_L &= 123817,6 \text{ N} \\ P_u &= 1261621,74 \text{ N} \end{aligned}$$

Momen pada penampang kolom ditinjau dari dua arah, yaitu momen arah X dan arah Y.

- Untuk Momen arah X

Momen akibat pengaruh gempa :

M_{1s} = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam Nmm (SNI 2847-2013)

M_{2s} = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam Nmm (SNI 2847-2013)

Output SAP2000

$$M_{1s} = 75000516,32 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 93871812,27 \text{ Nmm}$$

Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

M_{1ns} = nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan

akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping (SNI 2847-2013)

M_{2ns} = nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping (SNI 2847-2013)

Output SAP2000 :

$$M_{1ns} = 281069,2 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 569743,38 \text{ Nmm}$$

- Untuk Momen arah Y

Momen akibat pengaruh gempa :

Output SAP2000

$$M_{1s} = 143029542,5 \text{ Nmm}$$

$$M_{2s} = 163371169,3 \text{ Nmm}$$

Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

Output SAP2000

$$M_{1ns} = 301921271,9 \text{ Nmm}$$

$$M_{2ns} = 305066795 \text{ Nmm}$$

Kelangsingan kolom :

- Kontrol kelangsingan kolom

β_d = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial total terfaktor maksimum.

$$\begin{aligned}\beta_d &= \frac{1,2 \times PDL}{(1,2 \times PDL) + (1,6 \times PLL)} \\ &= \frac{1,2 \times 886261,31 \text{ N}}{(1,2 \times 886261,31 \text{ N}) + (1,6 \times 123817,6 \text{ N})} \\ &= 0,84\end{aligned}$$

- Panjang tekuk kolom

$$\psi = \frac{\sum (EI/L)_{kolom}}{\sum (EI/L)_{balok}} \quad (SNI 2847-2013 Pasal 10.10.7.2)$$

Untuk kolom (50/50)

$$EI_k = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \quad (SNI 2847-2013 Pasal 10.10.6.1)$$

$$\begin{aligned} I_g &= 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3 \\ &= 0,7 \times 1/12 \times 500\text{mm} \times (500\text{mm})^3 \\ &= 364583333,3 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_c &= 4700\sqrt{f_{c'}} \\ &= 4700\sqrt{30} \text{ MPa} \\ &= 25742,96 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} EI_k &= \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \\ &= \frac{0,4 \times 25742,96 \text{ Nmm} \times 364583333,3 \text{ mm}^4}{1 + 0,84} \\ &= 2,037 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

Untuk balok (20/30)

$$EI_b = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d} \quad (SNI 2847-2013 Pasal 10.10.6.1)$$

$$I_g = 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 0,7 \times 1/12 \times 200\text{mm} \times (300\text{mm})^3$$

$$= 157500000 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'}$$

$$= 4700\sqrt{30 \text{ MPa}}$$

$$= 25742,96 \text{ Nmm}$$

$$EI_b = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

$$= \frac{0,4 \times 25742,96 \text{ Nmm} \times 157500000\text{mm}^4}{1 + 0,84}$$

$$= 8,799 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2$$

Untuk balok (45/65)

$$EI_b = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 10.10.6.1)

$$I_g = 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 0,7 \times 1/12 \times 450\text{mm} \times (650\text{mm})^3$$

$$= 3604453125 \text{ mm}^4$$

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'}$$

$$= 4700\sqrt{30 \text{ MPa}}$$

$$= 25742,96 \text{ Nmm}$$

$$EI_b = \frac{0,4 \times E_c \times I_g}{1 + \beta_d}$$

$$= \frac{0,4 \times 25742,96 \text{ Nmm} \times 3604453125 \text{ mm}^4}{1 + 0,84}$$

$$= 2,0139 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Untuk balok (40/55)

$$EIs = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta_d}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 10.10.6.1)

$$Ig = 0,7 \times 1/12 \times b \times h^3$$

$$= 0,7 \times 1/12 \times 400\text{mm} \times (550\text{mm})^3$$

$$= 1941041667 \text{ mm}^4$$

$$Ec = 4700\sqrt{f_c'}$$

$$= 4700\sqrt{30} \text{ MPa}$$

$$= 25742,96 \text{ Nmm}$$

$$EIs = \frac{0,4 \times Ec \times Ig}{1 + \beta_d}$$

$$= \frac{0,4 \times 25742,96 \text{ Nmm} \times 1941041667 \text{ mm}^4}{1 + 0,84}$$

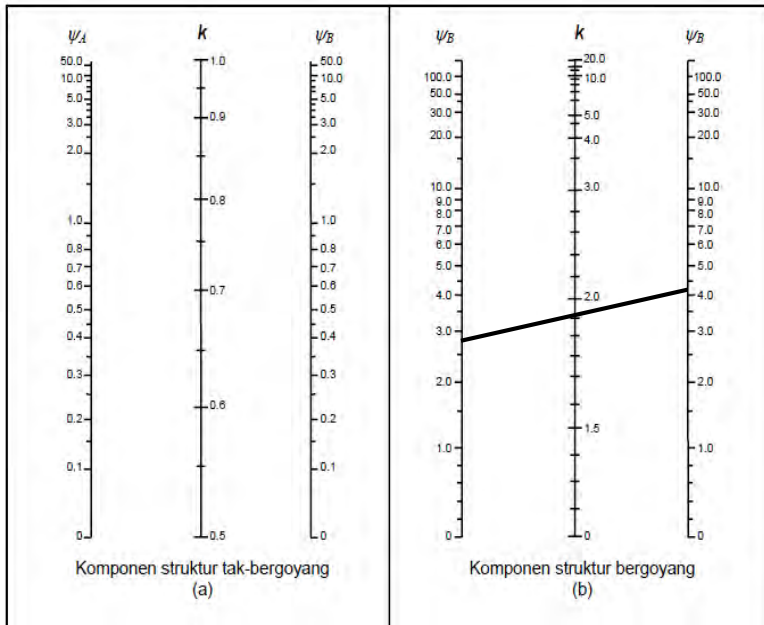
$$= 1,0845 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2$$

Kekakuan kolom atas

$$\begin{aligned} \Psi_A &= \frac{\Sigma(EI/L)_{\text{kolom atas}}}{(EI/L)_{B3} + (EI/L)_{B3} + (EI/L)_{B1}} \\ &= \frac{\frac{2,037 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{4100\text{mm}} + \frac{2,037 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{3600\text{mm}}}{\frac{8,799 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2}{4500\text{mm}} + \frac{8,799 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2}{4500\text{mm}} + \frac{2,139 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{1000\text{mm}}} \\ &= 4,706 \end{aligned}$$

Kekakuan kolom bawah

$$\begin{aligned}
 \Psi_B &= \frac{\Sigma(EI/L)_{\text{kolom bawah}}}{(EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B4} + (EI/L)_{BA1}} \\
 &= \frac{\frac{2,037 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{4100 \text{ mm}} + \frac{2,037 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{500 \text{ mm}}}{\frac{8,799 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2}{4500 \text{ mm}} + \frac{8,799 \cdot 10^{11} \text{ Nmm}^2}{4500 \text{ mm}} + \frac{2,0845 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{1000 \text{ mm}}} \\
 &= 7,202
 \end{aligned}$$



Gambar 4.3.3.1 Grafik aligment

Dari grafik aligment didapatkan faktor panjang efektif (K) = 2,25

Kontrol kelangsingan kolom :

$$\begin{aligned}
 r &= 0,3 \times h \\
 &= 0,3 \times 500 \text{ mm} \\
 &= 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 10.10.1.2)

$$\frac{k \times L_u}{r} \leq 22$$

$$\frac{2,25 \times 4100 \text{ mm}}{150 \text{ mm}} \leq 22$$

54 \geq 22 maka kolom termasuk kolom langsing

(SNI 2847-2013 Pasal 10.10.1(a))

Menghitung faktor pembesaran momen (δ_s)

$$P_c = \frac{\pi^2 \times EI}{(K \times L_u)^2}$$

$$= \frac{\pi^2 \times 2,037 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2}{(2,25 \times 4100 \text{ mm})^2} = 3061156,105 \text{ N}$$

$$\Sigma P_c = n \times P_c$$

$$= 10 \times 3061156,105 \text{ N} = 30611561,05 \text{ N}$$

$$\Sigma P_u = n \times P_u$$

$$= 10 \times 1261621,74 \text{ N} = 12616217,4 \text{ N}$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \Sigma P_c}} \geq 1$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{12616217,4 \text{ N}}{0,75 \times 30611561,05 \text{ N}}} \geq 1$$

$$\delta_s = 2,22 \geq 1$$

Maka dipakai $\delta_s = 2,22$ dalam perhitungan perbesaran momen.

Pembesaran momen X :

Dari output SAP2000 diperoleh :

$$M_{1ns} = 281069,2 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
M_{2ns} &= 569743,38 \text{ Nmm} \\
M_{1s} &= 75000516,32 \text{ Nmm} \\
M_{2s} &= 93871812,27 \text{ Nmm} \\
M_1 &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \\
&= 281069,2 \text{ Nmm} + (3,894 \times 75000516,32 \text{ Nmm}) \\
&= 166707788,6 \text{ Nmm} \\
M_2 &= M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \\
&= 569743,38 \text{ Nmm} + (3,894 \times 93871812,27 \text{ Nmm}) \\
&= 208950864,7 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu

$$M_2 = 208950864,7 \text{ Nmm}$$

Pembesaran momen Y:

Dari output SAP2000 diperoleh :

$$\begin{aligned}
M_{1ns} &= 301921271,9 \text{ Nmm} \\
M_{2ns} &= 305066795 \text{ Nmm} \\
M_{1s} &= 143029542,5 \text{ Nmm} \\
M_{2s} &= 163371169,3 \text{ Nmm} \\
M_1 &= M_{1ns} + \delta_s M_{1s} \\
&= 301921271,9 \text{ Nmm} + (3,894 \times 143029542,5 \text{ Nmm}) \\
&= 619425064,8 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_2 &= M_{2ns} + \delta_s M_{2s} \\
&= 305066795 \text{ Nmm} + (3,894 \times 163371169,3 \text{ Nmm}) \\
&= 667725900,2 \text{ Nmm}
\end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu

$$M_2 = 667725900,2 \text{ Nmm}$$

$$M_{2x} < M_{2y}$$

$$208950864,7 \text{ Nmm} < 667725900,2 \text{ Nmm}$$

Maka Momen yang digunakan untuk menghitung kolom adalah $M_{2y} = 565521837,8 \text{ Nmm}$

Penentuan Jumlah tulangan

Dalam menentukan jumlah kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan Diagram Interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk Perhitungan Struktur Beton berdasarkan SNI 1992. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan Diagram Interaksi adalah :

$$\begin{aligned}\mu h &= h \text{ kolom} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset \text{ geser}) - \emptyset \text{ lentur} \\ &= 500 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - 28 \text{ mm} \\ &= 372 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\mu = \frac{\mu h}{h \text{ kolom}} = \frac{372 \text{ mm}}{500 \text{ mm}} = 0,8$$

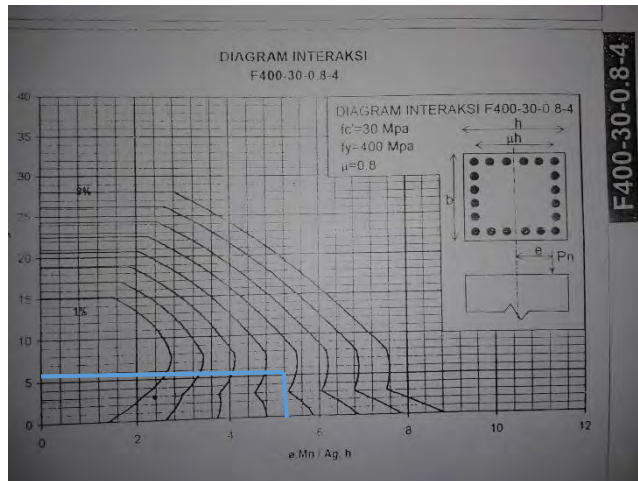
- Sumbu Vertikal

$$\begin{aligned}\frac{\phi P_n}{A_g} &= \frac{P_u}{b \cdot h} \\ &= \frac{1261621,74 \text{ Nmm}}{500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}} = 5,05 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

- Sumbu Horizontal

$$\begin{aligned}\frac{\phi M_n}{A_g \cdot h} &= \frac{M_u}{b \cdot h^2} \\ &= \frac{667725900,2 \text{ Nmm}}{500 \text{ mm} \times (500 \text{ mm})^2} = 5,34 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Kolom didisain dengan penulangan 4 sisi, sehingga digunakan diagram interaksi 4 sisi, berikut adalah diagram interaksi yang digunakan :



Gambar 4.3.3.2 Diagram Interaksi Penulangan 4sisi

Maka didapatkan $\rho_{\text{perlu}} = 4,7\% = 0,047$

Luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} \text{As perlu} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0,047 \times 500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 11750 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D28} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (28 \text{ mm})^2 \\ &= 615,44 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} n &= \frac{\text{As perlu}}{\text{luas tulangan D28}} \\ n &= \frac{11750 \text{ mm}^2}{615,44 \text{ mm}^2} \\ &= 19,09 \approx 20 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{pasang}}} &= n \times (1/4 \cdot \pi \cdot d^2) \\ &= 20 \times (1/4 \cdot \pi \cdot (28\text{mm})^2) \\ &= 12308,8 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka digunakan tulangan 20D28

Prosentase Tulangan Terpasang

$$\begin{aligned} &= \frac{A_{s \text{ pasang}}}{b \times h} \times 100\% \\ &= \frac{12308,8 \text{ mm}^2}{500 \text{ mm} \times 500 \text{ mm}} \times 100\% \\ &= 4,92 \% < 8\% \text{ (ok)} \end{aligned}$$

Cek kondisi balance

$$\begin{aligned} d &= 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 28 = 436 \text{ mm} \\ d' &= 40 + 10 + \frac{1}{2} 28 = 64 \text{ mm} \\ d'' &= 500 - 40 - 10 - \frac{1}{2} 28 - \frac{1}{2} 500 = 186 \text{ mm} \\ x_b &= \frac{600}{(600 + f_y)} d \\ &= \frac{600}{(600 + 400\text{MPa})} 436 \text{ mm} \\ &= 261,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} ab &= 0,85 \cdot x_b \\ &= 222,36 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{s'} &= A_{s'} (f_y - 0,85 \cdot f_{c'}) \\ &= 12308,8 \text{ mm}^2 (400\text{MPa} - 0,85 \cdot 30\text{MPa}) \\ &= 4609645,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot f_y \\ &= 12308,8 \text{ mm}^2 \cdot 420 \text{ N/mm}^2 \\ &= 4923520 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \cdot \beta 1 \cdot fc' \cdot b \cdot xb \\
 &= 0,85 \times 0,8 \times 30\text{MPa} \times 500\text{mm} \times 261,6 \text{ mm} \\
 &= 2668320 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pb &= Cc' + Cs' \cdot T \\
 &= 2668320 \text{ N} + 4609645,6 \text{ N} - 4923520 \text{ N} \\
 &= 2354445,6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mb &= Pb \times eb \\
 &= Cc' \left(d - d'' - \frac{ab}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= 2354445,6 \text{ N} \left(436\text{mm} - 186\text{mm} - \frac{222,36\text{mm}}{2} \right) + \\
 &\quad 4609645,6 \text{ N} (436\text{mm} - 186\text{mm} - 64\text{mm}) + \\
 &\quad 4923520 \text{ N} \cdot 186\text{mm} \\
 &= 2,143 \times 10^9 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 eb &= Mb/Pb \\
 &= 2,143 \times 10^9 \text{ Nmm} / 2354445,6 \text{ N} \\
 &= 910,44\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mu &= \frac{667725900,2 \text{ Nmm}}{0,65} \\
 &= 1,027 \cdot 10^9 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pu &= \frac{1261621,74 \text{ N}}{0,65} \\
 &= 1,94 \cdot 10^6 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_{\text{perlu}} &= Mu/Pu \\
 &= 1,027 \cdot 10^9 \text{ Nmm} / 1,94 \cdot 10^6 \text{ N} \\
 &= 529,26 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_{\text{min}} &= (15,24 + 0,03h) \\
 &= (15,24 + 0,03 \cdot 500 \text{ mm}) \\
 &= 30,25 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

(SNI 2847-2013 Pasal 10.10.1.2)

Kontrol kondisi

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$$

$$30,25 \text{ mm} < 529,26 \text{ mm} < 910,44 \text{ mm}$$

Maka kolom termasuk kondisi tekan menentukan

Kontrol kondisi tekan menentukan

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_b$$

$$30,25 \text{ mm} < 529,26 \text{ mm} < 910,44 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 12308,8 \text{ mm}^2 (400 \text{ MPa} - 0,85 \cdot 30 \text{ MPa}) \\ &= 4609645,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot b \cdot X \\ &= 0,85 \times 0,8 \times 30 \text{ MPa} \times 500 \text{ mm} \times X \\ &= 10200 \text{ N/mm} \cdot X \end{aligned}$$

Mencari nilai X :

$$a = 0,54d$$

$$0,85X = 0,54 \cdot 436 \text{ mm}$$

$$X = 276,99 \text{ mm}$$

*(Desain Beton Bertulang CHU-KIA WANG CHARLES
G.SALMON hal. 423)*

Maka,

$$\begin{aligned} C_c' &= 10837,5 \text{ N/mm} \cdot 276,99 \text{ mm} \\ &= 2825280 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot f_s \\ &= 12308,8 \text{ mm}^2 \cdot ((439 - 275,55)/275,55) \cdot 600 \\ &= 4239697,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\epsilon_s < \epsilon_y (f_y > f_s)$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 0,003 \\ &= \left(\frac{439 \text{ mm}}{276,99 \text{ mm}} - 1\right) \cdot 0,003 \\ &= 0,0017\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_s &= \epsilon_s \cdot E_s \\ &= 0,0017 \cdot 200000 \text{ MPa} \\ &= 344 \text{ MPa}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_y &= f_y / E_s \\ &= 420 \text{ MPa} / 200000 \text{ MPa} \\ &= 0,0021\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\epsilon_s &< \epsilon_y \\ 0,0017 &< 0,0021 \text{ (ok)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P &= Cc' + Cs' \cdot T \\ &= 2825280 \text{ N} + 4609645,6 \text{ N} - 4239697,8 \text{ N} \\ &= 3195227,82 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P &> P_b \\ 3195227,82 \text{ N} &> 2354445,6 \text{ N} \quad (\text{ok})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a &= 0,85 X \\ &= 0,85 \cdot 276,99 \text{ mm} = 235,44 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_n &= Cc' \left(d - d'' - \frac{a}{2}\right) + Cs'(d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= 2825280 \text{ N} \left(436 \text{ mm} - 186 \text{ mm} - \frac{235,44 \text{ mm}}{2}\right) + \\ &\quad 4609645,6 \text{ N} (436 \text{ mm} - 186 \text{ mm} - 64 \text{ mm}) + \\ &\quad 4239697,8 \text{ N} \cdot 186 \text{ mm} \\ &= 2,0197 \times 10^9 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Cek syarat :

$$M_n > M_u$$

$$2,0197 \times 10^9 \text{ Nmm} > 1,027 \cdot 10^9 \text{ Nmm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi dapat digunakan tulangan utama kolom sebesar 20D28

- Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} \rightarrow \text{perbesar penampang kolom}$$

$$S_{\max} = \frac{b - (2 t_{\text{selimut}}) - (2 \phi_{\text{geser}}) - (n \cdot \phi_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{500 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (6 \times 28)}{6 - 1}$$

$$S_{\max} = 46,40 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

(maka tulangan lentur disusun 1 lapis)

Cek dengan program pcaColumn

Semua output mengenai perhitungan dimasukkan ke dalam analisis pcaColumn, sehingga diperoleh grafik momen sebagai berikut :

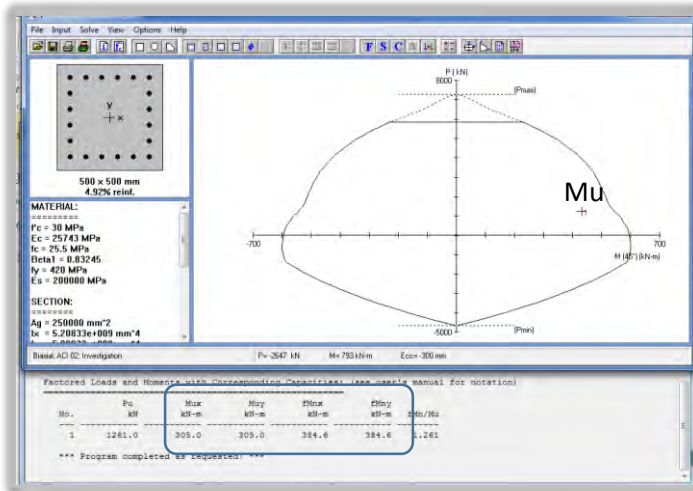
$$\text{Mutu beton (fc')} = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Mutu baja tulangan (fy)} = 400 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Modulus elastisitas} = 25743 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_1 = 0,8$$

Dimensi kolom = 500mm x 500mm



Berdasarkan output dari pcaColoumn

$M_u = 305$ kNm $< M_{ny} = 384,6$ kNm

Jadi kolom dapat menahan gaya lentur dan aksial yang terjadi.

Perhitungan tulangan geser

Data Perencanaan

h kolom : 500 mm
 b kolom : 500 mm
 Tebal selimut beton : 40 mm
 Tinggi kolom : 4100 mm
 Mutu beton (f'_c) : 30 MPa
 Kuat leleh tulangan lentur (f_y) : 420 MPa
 Kuat leleh tulangan geser (f_{yv}) : 320 MPa
 Diameter Tulangan lentur : D28
 Diameter Tulangan geser : $\emptyset 10$
 Faktor Reduksi : 0,75

(SNI 03-2847-2002 Pasal 11.3.2.(3))

Berdasarkan hasil out put progam SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom K1 as L-4 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_u &= (1,2D + 1,6L) \\ &= 1261621,74 \text{ N} \end{aligned}$$

Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil pcacol sebagai berikut :

20 #28 Cover = 40 mm

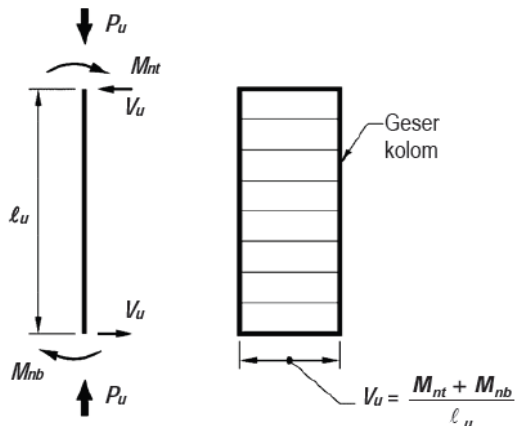
Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	1261.0	305.0	305.0	384.6	384.6	1.261

*** Program completed as requested! ***

Gambar 4.3.3.3 Output Gaya PcAcol

$$\begin{aligned} M_{nt} &= 384600000 \text{ Nmm} \\ M_{nb} &= 384600000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$



Gambar 4.3.3.4 Lintang rencana untuk SRPMM

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{\ell_u}$$

(SNI 03-2847-2013, Pasal 21.3.5)

Dimana :

Mnt = Momen nominal atas (top) kolom

Mnb = Momen nominal bawah (bottom) kolom

$$M_{nt} = \frac{M_{nt}}{\phi} = \frac{384600000}{0,75} = 512800000 \text{ Nmm}$$

$$M_{nb} = \frac{M_{nb}}{\phi} = \frac{384600000}{0,75} = 512800000 \text{ Nmm}$$

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u}$$

$$\begin{aligned} V_u &= \frac{M_{nt} + M_{nb}}{l_u} \\ &= \frac{512800000 + 512800000}{4100} \\ &= 284888,889 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat Kuat Tekan Beton (f_c'):

Nilai $\sqrt{f_c'}$ yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 MPa

(SNI 2847-2013)

$$\sqrt{f_c} \leq \frac{25}{3}$$

$$\sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \leq \frac{25}{3} \text{ N/mm}^2$$

$$5,477 \text{ N/mm}^2 \leq 8,33 \text{ N/mm}^2 \text{ (Memenuhi)}$$

Kekuatan geser pada beton :

$$V_c = 0,17 \left[1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right] \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b_w \times d$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,17 \left[1 \right. \\
 &\quad \left. + \frac{1261621,74 \text{ N}}{14 \times 250000 \text{ mm}^2} \right] \times 1 \times \sqrt{30} \times 500 \times 436 \\
 &= 276154,987 \text{ N}
 \end{aligned}$$

SNI 03-2847-2013, Pasal 11.2.1.2

$$\begin{aligned}
 \emptyset V_c &= 0,75 \times 276154,987 \text{ N} = 207116,24 \text{ N} \\
 0,5 \times \emptyset V_c &= 0,5 \times 0,75 \times 276154,987 \text{ N} = 103558,12 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser :

$$\begin{aligned}
 V_{s_{\min}} &= 0,33 \times b \times d \\
 &= 0,33 \times 500 \times 436 \\
 &= 71940 \text{ N} \\
 V_{s_{\max}} &= 0,33 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\
 &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 500 \times 436 \\
 &= 394031,608 \text{ N} \\
 2V_{s_{\max}} &= 0,66 \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 500 \times 436 \\
 &= 788063,2157 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi penulangan geser :

Kondisi 1 :

$$\begin{aligned}
 V_u &\leq 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c \rightarrow (\text{Tidak Perlu Tulangan Geser}) \\
 284888,889 \text{ N} &\geq 103558,12 \text{ N} \text{ (**tidak memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Kondisi 2 :

$$\begin{aligned}
 0,5 \cdot \emptyset \cdot V_c &\leq V_u \leq \emptyset \cdot V_c \rightarrow (\text{Tulangan Geser Minimum}) \\
 103558,12 \text{ N} &\leq 284888,889 \text{ N} \geq 207116,24 \text{ N} \text{ (**tidak memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Kondisi 3 :

$$\emptyset \cdot V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \rightarrow (\text{Perlu Geser Minimum})$$

207116,24 N ≤ 284888,889 N ≤ 261071,24 N **(tidak memenuhi)**

Kondisi 4 :

$\emptyset (V_c + V_{s_{\min}}) \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{\max}}) \rightarrow$ (Tulangan Geser)

261071,24 N ≤ 284888,889 N ≤ 502639,946 N
(memenuhi)

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan *Kondisi 4*.

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} V_{S_{\text{perlu}}} &= \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \\ &= \frac{284888,889 \text{ N} - 207116,24 \text{ N}}{0,75} \\ &= 103696,86 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= 0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot n_{\text{kaki}} \\ &= 0,25 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 2 \\ &= 157 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \cdot F_{yv} \cdot d}{V_{S_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{157 \text{ mm}^2 \cdot 320 \text{ MPa} \cdot 436 \text{ mm}}{103696,86 \text{ N}} \\ &= \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{maks}} &= \frac{d}{2} \\ &= \frac{436 \text{ mm}}{2} \\ &= 211 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\text{maks}} = 600 \text{ mm}$$

$$S_{\text{pakai}} = 150 \text{ mm}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4

$$S_{\text{pakai}} < S_{\text{maks}}$$

$$150 \text{ mm} < 211 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{pakai}} < 600 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} < 600 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser Ø10 – 150 mm

Cek Persyaratan SPRMM Untuk Kekuatan Geser Kolom

- 1). Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.3.5.2, Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang L_o dari muka hubungan balok-kolom S_o . Spasi S_o tersebut tidak boleh melebihi :
 - a) Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,

$$S_o \leq 8 \times D \text{ lentur}$$

$$150 \text{ mm} \leq 8 \times 28 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 224 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$
 - b) 24 kali diameter sengkang ikat,

$$S_o \leq 24 \times \varnothing_{\text{sengkang}}$$

$$150 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$
 - c) Setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur,

$$S_o \leq 1/2 \times b_w$$

$$150 \text{ mm} \leq 1/2 \times 500 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} \leq 250 \text{ mm} \quad (\text{Memenuhi})$$
 - d) $S_o \leq 300 \text{ mm}$

$$150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka, dipakai S_o sebesar Ø10 – 150 mm.

Direncanakan $Lo = 650 \text{ mm}$

Panjang Lo tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini :

a) Seperenam tinggi bersih kolom,

$$Lo > \frac{1}{6} \times (4100 - 500)$$

$$Lo > \frac{1}{6} \times 3600$$

$$> 600 \text{ mm}$$

b) Dimensi terbesar penampang kolom

$$Lo > 500 \text{ mm}$$

c) $Lo > 450 \text{ mm}$

Maka dipakai Lo sebesar 650 mm

Sehingga dipasang sengkang sebesar $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$ sejarak 650 mm dari muka hubungan balok kolom.

2). Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada $0,5 \times So = 0,5 \times 150 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom.

3). Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi $2 \times So = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$.

Maka pada daerah setelah sejarak $Lo = 650 \text{ mm}$ dari muka hubungan balok kolom tetap dipasang sengkang sebesar $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$.

a. Perhitungan sambungan lewatan tulangan vertikal kolom

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.16.1**, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah $0,071 \times fy \times db$, untuk $fy = 400 \text{ Mpa}$ atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm .

$$0,071 \times fy \times db \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,071 \times 400 \text{ N/mm}^2 \times 28 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm}$$

$$795,2 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \text{ (Memenuhi)}$$

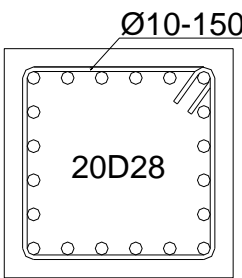
Maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 795,2 mm

b. Panjang penyaluran tulangan kolom

Berdasarkan **SNI 03-2847-2013 Pasal 12.2.3**, panjang penyaluran untuk tulangan D28 harus diambil sebesar :

$$\frac{L_d}{d_b} = \frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f_c'}} \frac{\psi_t\psi_o\psi_s}{(\frac{c+ktr}{d_b})}$$
$$\frac{L_d}{d_b} = \frac{400 \text{ MPa}}{1,1 \cdot 1\sqrt{30\text{MPa}}} \frac{1 \times 1,5 \times 1 \times 1}{(\frac{64 + 0}{28\text{mm}})}$$
$$\frac{L_d}{d_b} = 43,57$$

$$l_d = 43,57 \times 28 \text{ mm}$$
$$l_d = 1219,96 \text{ mm} \approx 1220 \text{ mm}$$



Gambar 4.3.3.5 Detail penulangan

Tabel Penulangan Kolom

<i>Tipe kolom</i>	<i>As</i>	<i>Penulangan</i>		
Kolom K1 50/50	K-4;K-15; L-4;L-15; M-4;M-	Lentur	20D28	
		Geser	Tumpuan	Lapangan

	15); N-4;N-15; O-4;O-15)		$\emptyset 10 - 65$	$\emptyset 10 - 150$
Kolom K2 40/40	A-2;A-3; A-4; G-2; G-3;G-4; Q-1;Q-2; Q-3; Q-4; T-1;T-2; T-3; T-4 ; J-2;J-3; J-7; J-15; P-2; P-3; P-7; P-15	Lentur	8D28	
		Geser	Tumpuan	Lapangan
			$\emptyset 10 - 160$	$\emptyset 10 - 160$
Kolom K3 30/30	C-6; B-11; D-14; E-14; H-13; I-9; L-14	Lentur	8D28	
		Geser	Tumpuan	Lapangan
			$\emptyset 10 - 150$	$\emptyset 10 - 150$

4.4 Perencanaan Struktur Bawah

4.4.1 Perhitungan Basement

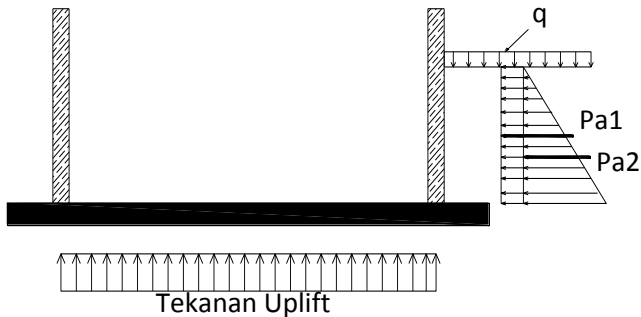
4.4.1.1 Perhitungan Beban Basement

Pada basement, selain beban mati dari plat beton dan beban hidup dari fungsi bangunan, beban juga diakibatkan tekanan dari tanah dan air. Berikut perhitungan dari tekanan dan air pada dinding dan lantai basement :

Data Perencanaan :

- q = Beban pejalan kaki sebesar 100 kg/m^2
- $h = 1,8 \text{ m}$
- $\gamma_t = 1,550 \text{ t/m}^3$

$$\varphi = 1,8$$



Gambar 4.4.1.1 Beban tanah pada basement

$$K_a = \operatorname{tg}^2 (45^\circ - \varphi/2)$$

$$= \operatorname{tg}^2 (45^\circ - 1,8/2) = 0,94$$

$$P_{a1} = q \cdot K_a \cdot h$$

$$= 0,1 \text{ t/m}^2 \cdot 0,94 \cdot 1,8 \text{ m} = 0,17 \text{ t/m}$$

$$P_{a2} = 0,5 h^2 \gamma_t K_a$$

$$= 0,5 \cdot (1,8 \text{ m})^2 \cdot 1,55 \text{ t/m}^3 \cdot 0,94 = 2,35 \text{ t/m}$$

$$q_{\text{Uplift}} = \gamma_t \cdot h \cdot K_a$$

$$= 1,55 \text{ t/m}^3 \cdot 1,8 \text{ m} \cdot 0,94 = 2,62 \text{ t/m}^2$$

4.4.1.2 Perhitungan Tulangan Plat lantai Basement

Gaya yang terjadi pada plat lantai basement merupakan gaya output dari SAP 2000 akibat beban Uplift.

Data perencanaan :

- Tebal plat = 20 cm
- Selimut Beton = 25 mm
- Mutu beton f_c' = 30 MPa
- Mutu Baja tul. f_y = 420 MPa
- Diameter tul. = 13 mm

Dari Pemodelan SAP2000 didapat Gaya berikut :

TABLE: Element Forces - Area Shells															
Area	AreaElem	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	F11	F22	F12	FMax	FMin	FAngle	FVM	M11	M22	M12
Text	Text	Text	Text	Text	Text	Kgf/m	Kgf/m	Kgf/m	Kgf/m	Kgf/m	Degrees	Kgf-m	Kgf-m/m	Kgf-m/m	Kgf-m
51 161	161-8	Shell-Thin	"833	1,2D + 1,6Uplift	Combination	-1051,85	348,84	-1681,4	1469,78	-2173	-56,305	3174,27	551,5	278,25	362,42
52 161	161-9	Shell-Thin	"837	1,2D + 1,6Uplift	Combination	-1519,07	-1527,51	1569,27	45,98	-3092,57	-44,523	3115,81	3214,94	1349,15	1445,03
53 161	161-9	Shell-Thin	"839	1,2D + 1,6Uplift	Combination	-1655,65	-1850,76	1448,62	-301,31	-3205,1	-43,074	3065,58	1999,89	-256,67	1066,51
54 161	161-9	Shell-Thin	"860	1,2D + 1,6Uplift	Combination	-400,42	-1232,44	1040,42	304,07	-1936,94	-34,103	2105,5	2300,63	-32,77	869,21
55 161	161-9	Shell-Thin	"858	1,2D + 1,6Uplift	Combination	-410,64	-836,87	-1104,37	500,98	-1748,5	-39,539	2045,53	2688,87	686,17	953,25
56 161	161-10	Shell-Thin	"839	1,2D + 1,6Uplift	Combination	-1599,51	-1797,37	-1478,95	-216,18	-3180,7	-43,086	3078,3	2939,82	297,83	1495,52
57 161	161-10	Shell-Thin	"861	1,2D + 1,6Uplift	Combination	-2760,25	-2381,55	-1123,57	-1431,49	-3710,31	-49,783	3241,03	-756,27	-2387,94	-169,73
58 161	161-10	Shell-Thin	"862	1,2D + 1,6Uplift	Combination	-1247,63	-1093,72	-274,37	-885,72	-1455,63	-52,834	1270,46	-128,95	-2198,24	309,95
59 161	161-10	Shell-Thin	"860	1,2D + 1,6Uplift	Combination	-426,18	-547,46	-645,99	162,01	-1135,86	-42,319	1224,72	2389,06	-230,88	771,43
60 161	161-11	Shell-Thin	"51	1,2D + 1,6Uplift	Combination	-884,22	292,4	-2666,79	2435	-3026,82	-51,22	4739,32	-10683,05	-9068,61	-159,27
61 161	161-11	Shell-Thin	"863	1,2D + 1,6Uplift	Combination	2632,45	947,69	-764,1	2927,37	652,77	-21,105	2661,71	-2149,95	-1944,46	-580,94
62 161	161-11	Shell-Thin	"862	1,2D + 1,6Uplift	Combination	151,65	-334,95	175,73	208,47	-391,78	17,919	527,85	-198,94	-2390,01	336,56
63 161	161-11	Shell-Thin	"861	1,2D + 1,6Uplift	Combination	-4822,08	-1464,72	-1222,73	-1066,62	-5220,19	-71,965	4777,04	426,15	-600,22	980,85
64 161	161-12	Shell-Thin	"863	1,2D + 1,6Uplift	Combination	1979,52	1246,35	-794,43	2451,72	774,16	-32,042	2170,76	-3674,27	-4633,28	627,83
65 161	161-12	Shell-Thin	"864	1,2D + 1,6Uplift	Combination	1978,94	-21,79	-1017,67	2403,9	-448,75	-22,76	2656,85	-61,36	-1451,61	-528,32
66 161	161-12	Shell-Thin	"865	1,2D + 1,6Uplift	Combination	764,46	-1550,52	-229,86	787,07	-1573,12	-5,616	2081,43	466,94	-1656,75	115,72

Dari tabel diatas menunjukkan momen terbesar berada pada area 161 dengan kombinasi 1,2D + 1,6Uplift. Sehingga Pada Perhitungan ini ditinjau pada area 161.

Output SAP2000 :

$$\text{Mu11} = 10683,05 \text{ Kgm}$$

$$\text{Mu22} = 9068,61 \text{ kgm}$$

Tinggi Efektif Pelat Bordes dan Tangga

$$\begin{aligned} dx &= \text{tebal pelat} - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \varnothing \\ &= 200\text{mm} - 25\text{mm} - 13\text{mm}/2 \\ &= 168,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= \text{tebal pelat} - \text{selimut beton} - \varnothing - \frac{1}{2} \varnothing \\ &= 200\text{mm} - 25\text{mm} - 16\text{mm} - 16\text{mm}/2 \\ &= 155,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85 \beta_c f_c'}{f_y} \left[\frac{600}{600 + f_y} \right] \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,8 \cdot 30}{420} \left[\frac{600}{600 + 420} \right] = 0,0286 \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal B.8.4.3

$$\rho_{maks} = 0,05 \rho_b = 0,0143$$

SNI 2847-2013 pasal B.8.4.3

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 16,47$$

- Penulangan plat arah 1-1

$$M_u = 106830500 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{106830500 \text{ Nmm}}{0,75} = 142440666,7 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{142440666,7 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (168,5 \text{ mm})^2} = 5,02 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 5,02 \text{ N/mm}^2}{420 \text{ N/mm}^2}} \right) \\ &= 0,0134 < \rho_{\text{maks}} = 0,0143 \\ A_{s_{\text{min}}} &= \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y} = \frac{1,4 \times 1000 \text{ mm} \times 168,5 \text{ mm}}{420} \\ &= 561,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s_{\text{perlu}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0134 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 168,5 \text{ mm} \\ &= 2263,02 \text{ mm}^2 > A_{s_{\text{min}}} = 561,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi, digunakan $A_{s_{\text{perlu}}} = 2263,02 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\text{max}} &\leq 3 \cdot h \\ &\leq 3 \cdot 200 \text{ mm} \\ &\leq 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 7.6.4

Dipakai tulangan Ø 13, sehingga jarak antar tulangan

$$\begin{aligned} S_{perlu} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{perlu}}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (168,5 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{2263,02 \text{ mm}^2} = 58,62 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{perlu} = 58,62 \text{ mm} < S_{\max} = 600 \text{ mm}$$

Dengan pembulatan kebawah, maka $S_{pakai} = 50 \text{ mm}$

Tulangan yang dipakai Ø 13 – 50 mm

$$\begin{aligned} A_{s_{pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{pakai}} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{50 \text{ mm}^2} \\ &= 2653,30 \text{ mm}^2 > A_{s_{perlu}} = 2263,02 \text{ mm}^2 \\ &\quad \text{(memenuhi)} \end{aligned}$$

■ Penulangan plat arah 2-2

$$M_u = 90686100 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{90686100 \text{ Nmm}}{0,75} = 120914800 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b d^2} = \frac{120914800 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (155,5 \text{ mm})^2} \\ &= 5,00 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{perlu} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 5,00 \text{ N/mm}^2}{420 \text{ N/mm}^2}} \right) \\ &= 0,0134 < \rho_{maks} = 0,0143 \end{aligned}$$

$$A_{s_{min}} = \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y} = \frac{1,4 \times 1000 \text{ mm} \times 155,5 \text{ mm}}{420} \\ = 518,33 \text{ mm}^2$$

$$A_{s_{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d \\ = 0,0134 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 155,5 \text{ mm} \\ = 2254,62 \text{ mm}^2 > A_{s_{min}} = 518,333 \text{ mm}^2$$

Jadi, digunakan $A_{s_{perlu}} = 2254,62 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{max} \leq 3 \cdot h \\ \leq 3 \cdot 200 \text{ mm} \\ \leq 600 \text{ mm}$$

SNI 2847-2013 pasal 7.6.4

Dipakai tulangan Ø 13, sehingga jarak antar tulangan

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{perlu}}} \\ = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (155,5 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{2254,62 \text{ mm}^2} = 58,84 \text{ mm}$$

$$S = 58,84 \text{ mm} < S_{max} = 600 \text{ mm}$$

Dengan pembulatan kebawah, maka $S_{pakai} = 50 \text{ mm}$

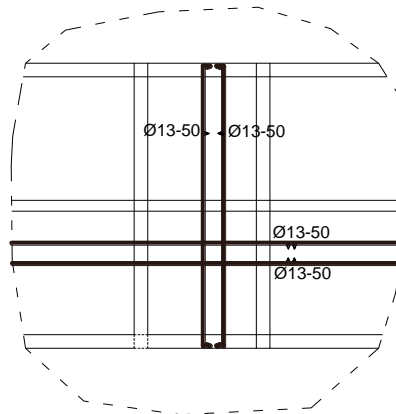
Tulangan yang dipakai Ø 13 – 50 mm

$$A_{s_{pakai}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (13\text{mm})^2 \cdot 1000\text{mm}}{50\text{ mm}^2}$$

$$= 2653,30\text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 2254,62\text{ mm}^2$$

(memenuhi)



Gambar 4.4.1.2 Detail Penulangan Plat Basement

4.4.1.3 Perhitungan Tulangan Dinding Basement

Gaya yang terjadi pada Dinding basement merupakan gaya output dari SAP 2000 akibat beban lateral.

Data perencanaan :

- Tebal plat = 20 cm
- Selimut Beton = 40 mm
- Mutu beton f_c' = 30 MPa
- Mutu Baja tul. f_y = 420 MPa
- Diameter tul. = 13 mm

Dari Pemodelan SAP2000 didapat Gaya berikut :

TABLE: Element Forces - Area Shells															
Area	AreaItem	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	FMin	FAngle	FVM	M11	M22	M12	MMax			
Test	Test	Test	Test	Test	Test	kgf/m	Degrees	kgf-m	kgf-m/m	kgf-m/m	kgf-m/m	kgf-m/m			
												MMin			
												MAngle			
												Degrees			
27	786	786	Shell-Thin	1487	P lateral	LinStatic	-1166,37	-83,13	1166,17	-721,41	-193,87	7,01	-159,77	-721,5	89,239
28	786	786	Shell-Thin	1489	P lateral	LinStatic	-1158,33	-83,125	1174,54	-377,55	-148,64	40,61	-139,51	-388,68	78,922
27	786	786	Shell-Thin	1490	P lateral	LinStatic	-1108,58	-86,319	1124,21	-10,31	875,33	41,96	379,85	-14,82	81,862
38	787	787	Shell-Thin	1490	P lateral	LinStatic	-1194,82	-86,911	1196,41	-387,9	262,06	58,59	267,1	-193,14	84,89
29	787	787	Shell-Thin	1491	P lateral	LinStatic	-1234,55	-82,837	1240,89	-271,85	-116,93	46,65	-103,97	-384,81	74,472
30	787	787	Shell-Thin	1491	P lateral	LinStatic	-1246,02	-81,554	1250,11	410,78	294,41	93,88	463,04	242,14	29,106
31	787	787	Shell-Thin	1492	P lateral	LinStatic	-1201,92	-85,56	1199,69	824,31	570,19	105,83	862,62	531,89	19,896
32	788	788	Shell-Thin	1492	P lateral	LinStatic	-1377,41	-80,04	1370,76	244,72	396,32	131,91	472,65	168,39	59,941
33	788	788	Shell-Thin	1491	P lateral	LinStatic	-1090,5	-78,022	1135,64	537,18	332,33	111,62	586,29	283,27	23,73
34	788	788	Shell-Thin	1493	P lateral	LinStatic	-1291,59	-71,646	1137,66	1349,11	47,66	160,02	1368,5	29,28	6,908
35	788	788	Shell-Thin	1494	P lateral	LinStatic	-1568,74	-75,426	1379	2288,22	1794,01	190,11	2347	1735,22	16,039
36	789	789	Shell-Thin	1478	P lateral	LinStatic	-2236,73	-76,369	1938,66	1601,92	413,8	-169,85	1625,72	889,79	-7,977
37	789	789	Shell-Thin	1494	P lateral	LinStatic	-2623,5	89,335	2273,92	1736,71	524,46	-153,29	1755,79	505,37	-7,096
38	789	789	Shell-Thin	1495	P lateral	LinStatic	-2118,03	-81,98	2469,65	356,67	-55,75	-167,81	413,88	-118,95	-19,434
39	789	789	Shell-Thin	1479	P lateral	LinStatic	-1769,35	-77,74	2206,03	454,04	30,01	-184,38	523	-38,95	-20,506
40	790	790	Shell-Thin	1478	P lateral	LinStatic	-1963,18	-75,714	1821,64	335,34	-5,6	-172,78	407,59	-77,83	-22,693
41	790	790	Shell-Thin	1485	P lateral	LinStatic	-1581,76	-80,683	2097,7	385,05	-51,23	-173,98	445,93	-112,11	-19,287
42	790	790	Shell-Thin	1496	P lateral	LinStatic	-1788,79	-79,68	1840,99	-389,1	-307,04	-156,33	-186,45	-509,69	-52,353
43	790	790	Shell-Thin	1481	P lateral	LinStatic	-1284,47	-73,083	1492,64	-217,47	-138,8	-155,13	-25,34	-150,92	-51,621

Dari tabel diatas menunjukkan momen terbesar berada pada area 788 dengan kombinasi Plateral. Sehingga Pada Perhitungan ini ditinjau pada area 788.

Output SAP2000 :

$$Mu_{11} = 2288,22 \text{ Kgm}$$

$$Mu_{22} = 1794,01 \text{ kgm}$$

Tinggi Efektif Pelat Bordes dan Tangga

$$\begin{aligned} dx &= \text{tebal pelat} - \text{selimut beton} - \frac{1}{2} \emptyset \\ &= 200\text{mm} - 40\text{mm} - 13\text{mm}/2 \\ &= 153,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= \text{tebal pelat} - \text{selimut beton} - \emptyset - \frac{1}{2} \emptyset \\ &= 200\text{mm} - 40\text{mm} - 13\text{mm} - 13\text{mm}/2 \\ &= 140,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_b &= \frac{0,85\beta f_{c'} \left[\frac{600}{600+f_y} \right]}{f_y} \\ &= \frac{0,85 \cdot 0,8 \cdot 30 \left[\frac{600}{600+420} \right]}{420} = 0,0286 \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal B.8.4.3

$$\rho_{maks} = 0,05 \rho_b = 0,0143$$

SNI 2847-2013 pasal B.8.4.3

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} = \frac{420}{0,85 \times 30} = 16,47$$

- Penulangan plat arah 1-1

$$M_u = 22882200 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{22882200 \text{ Nmm}}{0,75} = 30509600 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{bd^2} = \frac{30509600 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (153,5 \text{ mm})^2} = 1,29 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 1,29 \text{ N/mm}^2}{420 \text{ N/mm}^2}} \right) \\ &= 0,0032 < \rho_{\text{maks}} = 0,0143 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\min}} &= \frac{1,4 \times b_w \times d}{f_y} = \frac{1,4 \times 1000 \text{ mm} \times 153,5 \text{ mm}}{420} \\ &= 511,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= \rho \cdot b \cdot d \\ &= 0,0032 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 153,5 \text{ mm} \\ &= 491,2 \text{ mm}^2 < A_{S_{\min}} = 511,667 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jadi, digunakan $A_{S_{\text{perlu}}} = A_{S_{\min}} = 511,667 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$\begin{aligned} S_{\max} &\leq 3 \cdot h \\ &\leq 3 \cdot 200 \text{ mm} \\ &\leq 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

SNI 2847-2013 pasal 7.6.4

Dipakai tulangan Ø 13, sehingga jarak antar tulangan

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{s_{perlu}}}$$

$$= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (153,5 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{511,667 \text{ mm}^2} = 259,28 \text{ mm}$$

$$S = 259,28 \text{ mm} < S_{\max} = 600 \text{ mm}$$

Dengan pembulatan kebawah, maka $S_{\text{pakai}} = 250$ mm

Tulangan yang dipakai Ø 13 – 250 mm

$$A_{s_{pakai}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{s_{pakai}}$$

$$= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (13 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{250 \text{ mm}^2}$$

$$= 530,66 \text{ mm}^2 > A_{s_{perlu}} = 511,667 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

▪ Penulangan plat arah 2-2

$$M_u = 17940100 \text{ Nmm}$$

$$M_n = \frac{M_u}{\phi} = \frac{17942100 \text{ Nmm}}{0,75}$$

$$= 23920133,33 \text{ Nmm}$$

$$R_n = \frac{M_n}{b d^2} = \frac{23922800 \text{ Nmm}}{1000 \text{ mm} \cdot (130,5 \text{ mm})^2}$$

$$= 1,21 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho_{perlu} = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times m \times R_n}{f_y}} \right)$$

$$= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 1,21 \text{ N/mm}^2}{420 \text{ N/mm}^2}} \right)$$

$$= 0,003 < \rho_{maks} = 0,0143$$

$$A_{S_{min}} = \frac{1,4 \times bw \times d}{f_y} = \frac{1,4 \times 1000 \text{ mm} \times 140,5 \text{ mm}}{420}$$

$$= 468,33 \text{ mm}^2$$

$$A_{S_{perlu}} = \rho \cdot b \cdot d$$

$$= 0,003 \cdot 1000 \text{ mm} \cdot 140,5 \text{ mm}$$

$$= 421,5 \text{ mm}^2 < A_{S_{min}} = 468,33 \text{ mm}^2$$

Jadi, digunakan $A_{S_{perlu}} = A_{S_{min}} = 468,33 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak spasi tulangan

$$S_{max} \leq 3 \cdot h$$

$$\leq 3 \cdot 200 \text{ mm}$$

$$\leq 600 \text{ mm}$$

SNI 2847-2013 pasal 7.6.4

Dipakai tulangan Ø 13, sehingga jarak antar tulangan

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{A_{S_{perlu}}}$$

$$= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (140,5 \text{ mm})^2 \cdot 1000 \text{ mm}}{468,33 \text{ mm}^2}$$

$$= 283,27 \text{ mm} < S_{max} = 600 \text{ mm}$$

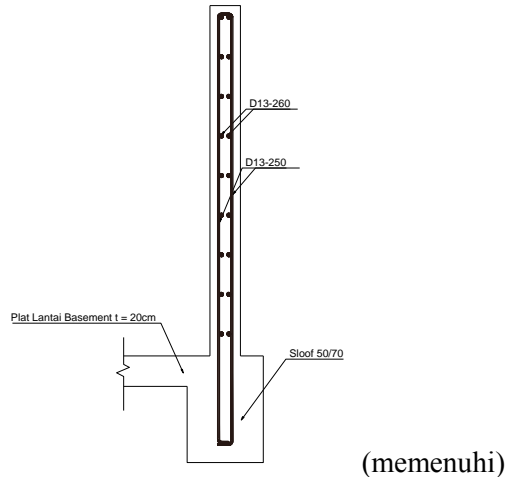
Dengan pembulatan kebawah, maka $S_{pakai} = 280 \text{ mm}$

Tulangan yang dipakai Ø 13 – 260 mm

$$A_{S_{pakai}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot b}{S_{pakai}}$$

$$= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (13\text{mm})^2 \cdot 1000\text{mm}}{280\text{ mm}^2}$$

$$= 473,8\text{ mm}^2 > A_{s\text{perlu}} = 468,33\text{ mm}^2$$



Gambar 4.4.1.3 Detail Penulangan Dinding Basement

4.4.2 Perhitungan Tulangan Sloof

Perhitungan tulangan sloof S1 (50×70)cm AS elevasi -4,1m. Berikut ini adalah data perencanaan sloof berdasarkan gambar denah basement, hasil output dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000. Selanjutnya akan dihitung dengan metode SRPMM.

Data Perencanaan sloof:

Tipe sloof	: S1
Bentang balok	: 10000 mm
Dimensi sloof (b sloof)	: 450 mm
Dimensi sloof (h sloof)	: 650 mm
Kuat Tekan Beton (f_c')	: 30 N/mm^2

Kuat Leleh Tul. Lentur (f_y)	: 420 N/mm^2
Kuat Leleh Tul. Geser (f_{yv})	: 320 N/mm^2
Kuat Leleh Tul. Puntir (f_{yt})	: 420 N/mm^2
Diameter Tulangan Lentur	: D 28
Diameter Tulangan Geser	: $\emptyset 12$
Diameter Tulangan Puntir	: $\emptyset 16$
Jarak Spasi Tul. Sejajar	: 25 mm

(SNI 2847:2013, Pasal 7.6.1)

Tebal selimut beton (t decking) : 50 mm

(SNI 2847:2013, Pasal 7.7.1 (c))

Faktor β_1 : 0,85

(SNI 2847:2013, Pasal 10.2.7.3)

Faktor reduksi kekuatan lentur : 0,8

Faktor reduksi kekuatan geser : 0,75

Faktor reduksi kekuatan puntir : 0,75

Maka, tinggi efektif sloof:

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \emptyset_{\text{tul. sengkang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tul. lentur}} \\
 &= 700\text{mm} - 50\text{mm} - 12\text{mm} - \frac{1}{2} 28\text{mm} \\
 &= 624\text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= \text{decking} + \emptyset_{\text{tul. sengkang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{tul. lentur}} \\
 &= 50\text{mm} + 12\text{mm} + \frac{1}{2} 28\text{mm} = 76 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Hasil output dan diagram dari analisa SAP 2000

Untuk perhitungan tulangan puntir dicari frame pada SAP 2000 dengan momen paling besar. Sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

Hasil Output Torsi

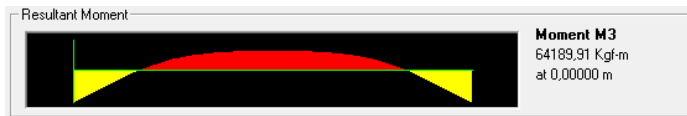
Kombinasi : 1,2D+1,6Uplift



Momen Puntir : 369200 Nmm

Hasil Output Diagram Momen Lentur

Kombinasi: 1,2D+1,6Uplift



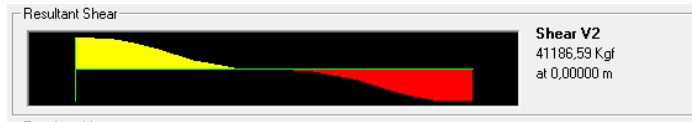
Momen Tumpuan Kiri : 641899100 Nmm

Momen Lapangan : -397191900 Nmm

Momen Rumpuan Kanan : 642797900 Nmm

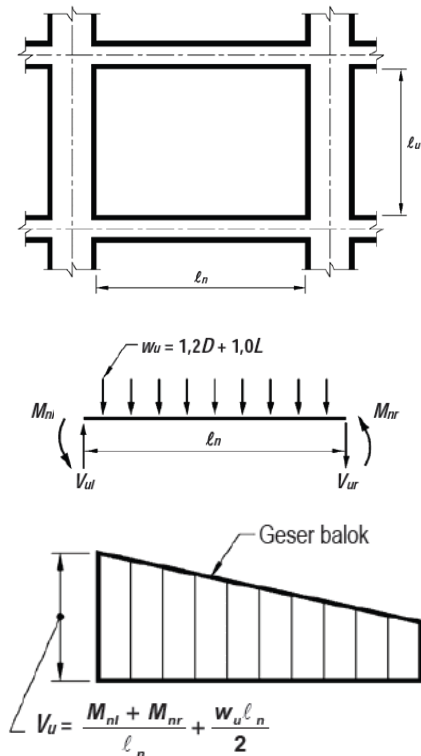
Hasil Output Diagram Gaya Geser

Berdasarkan hasil output dan diagram gaya dalam akibat beban kombinasi 1,2D+1,6Uplift didapatkan gaya geser terfaktor



$V_u = 411865,9 \text{ N}$ (V_u diambil tepat pada muka kolom)

Ketentuan perhitungan tulangan balok menggunakan metode SRPMM dihitung berdasarkan SNI 2847:2013



Gambar 4-0-6 Gaya Lintang Balok pada SRPMM

Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap geser, lentur dan puntir. Ukuran sloof yang dipakai = 50/70

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 500mm \times 7000mm = 350000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Parimeter luar irisan penampang beton A_{cp}

$$\begin{aligned} P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\ &= 2 \times (500mm + 700mm) = 2400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi AS tulangan sengkang

$$\begin{aligned} A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \times t_{decking} - \phi_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \times \\ &\quad t_{decking} - \phi_{geser}) \\ &= (500mm - 2 \times 50mm - 12mm) \times (700mm - 2 \times \\ &\quad 50mm - 12mm) \\ &= 228144 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi AS tulangan sengkang

$$\begin{aligned} P_{oh} &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \times t_{decking} - \phi_{geser}) + (h_{balok} - 2 \times \\ &\quad t_{decking} - \phi_{geser})] \\ &= 2 \times [(500 - 2 \times 50mm - 12mm) + (700mm - 2 \times \\ &\quad 50mm - 12mm)] \\ &= 456288 \text{ mm} \end{aligned}$$

1. Perhitungan Tulangan Puntir

Berdasarkan output SAP 2000 diperoleh momen puntir terbesar

Momen Puntir Ultimate

Akibat kombinasi: 1,2D+1,6Uplift

$$T_u = 369200 \text{ Nmm}$$

Momen Puntir Nominal

$$T_n \geq \frac{T_u}{\phi} \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 11.5.3.5})$$

$$T_n = \frac{369200 \text{ Nmm}}{0,75} = 492266,67 \text{ Nmm}$$

Geser Ultimate

Akibat kombinasi: 1,2D+1,6Uplift

Pengaruh puntir dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor T_u besarnya kurang dari

$$T_{u_{min}} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.5.1 (a))

$$T_{u_{min}} = \phi 0,083 \lambda \sqrt{f'c'} \left(\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

$$T_{u_{min}} = 0,75 \times 0,083 \times 1 \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \left(\frac{(350000 \text{ mm}^2)^2}{2400 \text{ mm}} \right)$$

$$= 17403028,45 \text{ Nmm}$$

Cek Pengaruh Momen Puntir

$T_u < T_{u_{min}}$ maka tulangan puntir diabaikan

$T_u > T_{u_{min}}$ maka memerlukan tulangan puntir

$$T_u = 369200 \text{ Nmm} < T_{u_{min}} = 17403028,45 \text{ Nmm}$$

(tidak memerlukan tulangan puntir)

Karena h penampang lebih besar dari 30 cm maka dipasang tulangan puntir minimum.

2. Perhitungan Tulangan Lentur

Garis Netral Dalam Kondisi Balance

$$X_b = \frac{600}{600 + f_y} \times d$$

$$= \frac{600}{600 + 420} \times 624 \text{ mm} = 367,06 \text{ mm}$$

Garis Netral Maksimum

$$X_{max} = 0,75 \times X_b$$

$$= 0,75 \times 367,06 \text{ mm}$$

$$= 275,29 \text{ mm}$$

Garis Netral Minimum

$$X_{min} = d' \\ = 76 \text{ mm}$$

Garis Netral Rencana (Asumsi)

$$X_{rencana} = 0,65 \times X_b \\ = 0,65 \times 367,06 \text{ mm} \\ = 239 \text{ mm}$$

Komponen Beton Tertekan

$$C_c' = 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana} \\ = 0,85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 500 \text{ mm} \times 0,85 \times 239 \text{ mm} \\ = 2590163 \text{ N}$$

Luas Tulangan Lentur Gaya Tarik Tulangan Lentur Tunggal

$$Asc = \frac{0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{rencana}}{f_y} \\ = \frac{0,85 \times 30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times 500 \text{ mm} \times 0,85 \times 239 \text{ mm}}{420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \\ = 6167,05 \text{ mm}^2$$

Momen Nominal Tulangan Lentur Tunggal

$$Mnc = Asc \times f_y \times \left(d - \frac{\beta_1 \times X_{rencana}}{2} \right) \\ = 2580,36 \text{ mm}^2 \times 420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \times \left(624 \text{ mm} - \frac{0,85 \times 239 \text{ mm}}{2} \right) \\ = 1353165644 \text{ Nmm}$$

a. Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:
1,2D+1,6Uplift

$$M_{u \text{ tumpuan}} = 641899100 \text{ Nmm}$$

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned}
 M_n &= \frac{M_u \text{ tumpuan}}{\phi} \\
 &= \frac{641899100 \text{ Nmm}}{0,8} \\
 &= 802373875 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat:

$M_{ns} \geq 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 802373875 \text{ Nmm} - 1353165644 \text{ Nmm} \\
 &= -550791769 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$M_{ns} = -550791769 \text{ Nmm} \geq 0$$

(tidak perlu tulangan lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perencanaan tulangan tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{802373875 \text{ Nmm}}{450 \text{ mm} \times (624 \text{ mm})^2} = 4,121$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013,})$$

Lampiran B.8.4.2)

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{420 \text{ N/mm}^2} \left(\frac{600}{600 + 420 \text{ N/mm}^2} \right) = 0,03$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_b \quad (\text{SNI 2847:2013,})$$

Lampiran B.10.3.3)

$$= 0,75 \times 0,03 = 0,0228$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420 \text{ N/mm}^2} = 0,0033$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\
 &= \frac{420 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 16,47
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 4,121}{420 \frac{N}{mm^2}}} \right) \\
 &= 0,011
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{min} &< \rho < \rho_{max} \\
 0,0033 &< 0,011 < 0,022 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{pakai} \times b \times d \\
 &= 0,011 \times 500 \text{ mm} \times 624 \text{ mm} \\
 &= 3359,45 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi (28 \text{ mm})^2 \\
 &= 615,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Pasang

Luasan tulangan perlu tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok (top)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= A_s + \frac{A_t}{4} \\
 &= 3359,45 \text{ mm}^2 + 0 \\
 &= 3359,45 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}} \\
 &= \frac{3359,45 \text{ mm}^2}{615,75 \text{ mm}^2} \\
 &= 5,4 \text{ buah} \\
 &\approx 6 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\
 &= 6 \times 615,75 \text{ mm}^2 \\
 &= 3694,51 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$As_{pasang} = 3694,51 \text{ mm}^2 > As_{perlu} = 3359,45 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

Syarat:

$$S_{maks} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

$$S_{maks} \leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}$$

Direncanakan tulangan lentur 1 lapis 6D28

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned} S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset_{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\ &= \frac{500 \text{ mm} - (2 \times 50 \text{ mm}) - (2 \times 16 \text{ mm}) - (6 \times 28 \text{ mm})}{6 - 1} \\ &= 41,6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 41,6 \text{ mm} > S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur \text{ tumpuan}(+) } \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan}(-)}$$

(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned} As_{pasang} &= 6D28 \\ &= 6 \times 0,25 \times 3,14 \times (28 \text{ mm})^2 \\ &= 3694,51 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 As'_{pasang} &= 6D28 \\
 &= 6 \times 0,25 \times 3,14 \times (28\text{mm})^2 \\
 &= 3694,51 \\
 M_{lentur\ tumpuan}(+) &\geq \frac{1}{3} \times M_{lentur\ tumpuan}(-) \\
 3694,51\text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 3694,51\text{ mm}^2 \\
 3694,51\text{ mm}^2 &\geq 1231,5\text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan: 6D28

Kontrol kemampuan penampang

$$As_{pakai\ tulangan\ tarik} \quad 6D28 \quad = 3694,51\text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \times fy}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{3694,51\text{ mm}^2 \times 420\text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30\text{ N/mm}^2 \times 500\text{ mm}} \\
 &= 121,7\text{ mm} \\
 Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\
 &= 0,85 \times 500\text{ mm} \times 30\text{ N/mm}^2 \times 121,7\text{ mm} \\
 &= 1551675\text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs' &= As_{pakai} \times fy \\
 &= 3694,51\text{ mm}^2 \times 420\text{ N/mm}^2 \\
 &= 1551694,2\text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\
 &= \left(1551675\text{ N} \times \left(624\text{ mm} - \frac{121,7\text{ mm}}{2} \right) \right) + \\
 &\quad (1551694,2\text{ N} \times (624\text{ mm} - 76\text{ mm}))
 \end{aligned}$$

$$= 1724154197,85 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$\theta M_n \geq M_u$$

$$0,8 \times 1724154197,85 \text{ Nmm} > 641899100 \text{ Nmm}$$

$$1379323358,28 \text{ Nmm} > 641899100 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk sloof S1 (50/70) untuk daerah tumpuan kiri:

Tulangan Lentur susun 1 lapis = 6D28

b. Daerah Tumpuan Kanan

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:
1,2D+1L+1Ey+0,3Ex

$$M_{u \text{ tumpuan}} = 642797900 \text{ Nmm}$$

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{u \text{ tumpuan}}}{\phi} \\ &= \frac{642797900 \text{ Nmm}}{0,8} \\ &= 803497375 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat:

$$M_{ns} \geq 0 \rightarrow \text{maka perlu tulangan lentur tekan}$$

$$M_{ns} \leq 0 \rightarrow \text{maka tidak perlu tulangan lentur tekan}$$

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 803497375 \text{ Nmm} - 1353165644 \text{ Nmm} \\ &= -549668269 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$M_{ns} = -549668269 \text{ Nmm} < 0$$

(tidak perlu tul. lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perencanaan tulangan tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$R_n = \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{803497375 \text{ Nmm}}{500 \text{ mm} \times (624 \text{ mm})^2} = 4,121$$

$$\rho_b = \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right)$$

(SNI 2847:2013, Lampiran B.8.4.2)

$$= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{420 \text{ N/mm}^2} \left(\frac{600}{600 + 420 \text{ N/mm}^2} \right) = 0,03$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b$$

(SNI 2847:2013, Lampiran B.10.3.3)

$$= 0,75 \times 0,03 = 0,0228$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420 \text{ N/mm}^2} = 0,0033$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} = \frac{420 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 16,47$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 4,121}{420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right) \\ &= 0,011 \end{aligned}$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$$

$$0,0033 < 0,011 < 0,022 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{pakai} \times b \times d \\ &= 0,011 \times 500 \text{ mm} \times 624 \text{ mm} \\ &= 3359,45 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luasan tulangan lentur} &= \frac{1}{4} \pi d^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi (28 \text{ mm})^2 \\
 &= 615,75 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah Tulangan Pasang

Luasan tulangan perlu tarik+ luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok (top)

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ perlu} &= A_s + \frac{A_l}{4} \\
 &= 3359,45 \text{ mm}^2 + 0 \\
 &= 3359,45 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n &= \frac{A_s \text{ perlu}}{\text{Luasan tulangan lentur}} \\
 &= \frac{3359,45 \text{ mm}^2}{615,75 \text{ mm}^2} \\
 &= 5,4 \text{ buah} \\
 &\approx 6 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\
 &= 6 \times 615,75 \text{ mm}^2 \\
 &= 3694,51 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= 3694,51 \text{ mm}^2 > A_s \text{ perlu} = \\
 &3359,45 \text{ mm}^2 \quad (\text{memenuhi})
 \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

Syarat:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\
 S_{maks} &\leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari satu} \\
 &\text{lapis}
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur 1 lapis 6D28

Kontrol Tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset \text{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\
 &= \frac{500 \text{ mm} - (2 \times 50 \text{ mm}) - (2 \times 16 \text{ mm}) - (6 \times 28 \text{ mm})}{6 - 1} \\
 &= 41,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 41,6 \text{ mm} > S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur \text{ tumpuan}}(+) \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan}}(-)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= 6D28 \\
 &= 6 \times 0,25 \times 3,14 \times (28 \text{ mm})^2 \\
 &= 3694,51 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_{s' \text{ pasang}} &= 6D28 \\
 &= 6 \times 0,25 \times 3,14 \times (28 \text{ mm})^2 \\
 &= 3694,51
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{lentur \text{ tumpuan}}(+) &\geq \frac{1}{3} \times M_{lentur \text{ tumpuan}}(-) \\
 3694,51 \text{ mm}^2 &\geq \frac{1}{3} \times 3694,51 \text{ mm}^2 \\
 3694,51 \text{ mm}^2 &\geq 1231,5 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan: 6D28

Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s \text{ pakai tulangan tarik}} \quad 6D28 = 3694,51 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{As \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{3694,51 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 500 \text{ mm}} \\
 &= 121,7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\
 &= 0,85 \times 500 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 121,7 \text{ mm} \\
 &= 1551675 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Cs' &= As_{pakai} \times f_y \\
 &= 3694,51 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 1551694,2 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Mn &= \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\
 &= \left(1551675 \text{ N} \times \left(624 \text{ mm} - \frac{121,7 \text{ mm}}{2} \right) \right) + \\
 &\quad (1551694,2 \text{ N} \times (624 \text{ mm} - 76 \text{ mm})) \\
 &= 1724154197,85 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\theta Mn \geq Mu$$

$$0,8 \times 1724154197,85 \text{ Nmm} > 641899100 \text{ Nmm}$$

$$1379323358,28 \text{ Nmm} > 641899100 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk sloof S1 (50/70) untuk daerah tumpuan kanan:

Tulangan Lentur susun 1 lapis = 6D28

c. Daerah Lapangan

Diambil momen terbesar, akibat dari kombinasi:
1,2D+1L+1Ey+0,3Ex

$$M_{u \text{ lapangan}} = 397191900 \text{ Nmm}$$

Momen Lentur Nominal

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_{u \text{ tumpuan}}}{\phi} \\ &= \frac{397191900 \text{ Nmm}}{0,8} \\ &= 496489875 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Cek Momen Nominal Tulangan Lentur Rangkap

Syarat:

$M_{ns} \geq 0 \rightarrow$ maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0 \rightarrow$ maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 496489875 \text{ Nmm} - 1353165644 \text{ Nmm} \\ &= -856675769 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$M_{ns} = -856675769 \text{ Nmm} \leq 0$ (tidak perlu tul. lentur tekan)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perencanaan tulangan tunggal.

Perencanaan Tulangan Lentur Tunggal

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \times d^2} = \frac{496489875 \text{ Nmm}}{500 \text{ mm} \times (624 \text{ mm})^2} = 2,55 \\ \rho_b &= \frac{0,85 \times \beta_1 \times f_c'}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \quad (\text{SNI 2847:2013,} \\ &\text{Lampiran B.8.4.2)} \\ &= \frac{0,85 \times 0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2}{420 \text{ N/mm}^2} \left(\frac{600}{600 + 420 \text{ N/mm}^2} \right) = 0,03 \end{aligned}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_b \quad (SNI \ 2847:2013, \\ \text{Lampiran B.10.3.3})$$

$$= 0,75 \times 0,03 = 0,0228$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{420 \text{ N/mm}^2} = 0,0033$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \times f_c'} \\ = \frac{420 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2} = 16,47$$

$$\rho = \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2m \times R_n}{f_y}} \right) \\ = \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times 16,47 \times 2,55}{420 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}}} \right) \\ = 0,006$$

$$\rho_{min} < \rho < \rho_{max} \\ 0,0033 < 0,006 < 0,022 \text{ (memenuhi)}$$

$$A_{s \text{ perlu}} = \rho_{pakai} \times b \times d \\ = 0,006 \times 500 \text{ mm} \times 624 \text{ mm} \\ = 2000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Luasan tulangan lentur} = \frac{1}{4} \pi d^2 \\ = \frac{1}{4} \pi (28 \text{ mm})^2 \\ = 615,75 \text{ mm}^2$$

Jumlah Tulangan Pasang

Luasan tulangan perlu + luasan tambahan puntir longitudinal sisi atas balok (top)

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + \frac{A_l}{4} \\ = 2000 \text{ mm}^2 + 0 \\ = 2000 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{\text{Luasan tulangan lentur}} = \frac{2000 \text{ mm}^2}{615,75 \text{ mm}^2} = 3,3 \text{ buah} \approx$$

4 buah

$$\begin{aligned}
 As_{pasang} &= n \times \text{Luasan tulangan lentur} \\
 &= 4 \times 615,75 \text{ mm}^2 \\
 &= 2463 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol

$$As'_{pasang} = 1231,5 \text{ mm}^2 > As'_{perlu} = 0 \text{ mm}^2$$

(memenuhi)

Kontrol Jarak Spasi Tulangan

Syarat:

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &\geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun 1 lapis} \\
 S_{maks} &\leq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} && \rightarrow \text{susun lebih dari satu lapis}
 \end{aligned}$$

Direncanakan tulangan lentur 1 lapis 4D28.

Kontrol Tulangan

$$\begin{aligned}
 S_{maks} &= \frac{b - (2 \times \text{decking}) - (2 \times \emptyset_{geser}) - (\text{jumlah tul} \times D_{lentur})}{\text{jumlah tulangan} - 1} \\
 &= \frac{450 \text{ mm} - (2 \times 40 \text{ mm}) - (2 \times 10 \text{ mm}) - (4 \times 28 \text{ mm})}{4 - 1} \\
 &= 88 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat:

$$S_{maks} = 88 \text{ mm} \geq S_{sejajar} = 25 \text{ mm} \rightarrow \text{susun 1 lapis}$$

Maka dipasang tulangan lentur sloof S1 (50/70) untuk daerah lapangan:

Tulangan Lentur susun 1 lapis = 4D28

Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kekuatan momen positif pada muka joint tidak boleh kurang dari sepertiga kekuatan momen negatif yang disediakan pada muka joint. Baik kekuatan momen negatif atau positif pada sembarang penampang sepanjang balok

tidak boleh kurang dari seperlima kekuatan momen maksimum yang disediakan pada muka salah satu joint.

$$M_{lentur\ tumpuan}(+) \geq \frac{1}{3} \times M_{lentur\ tumpuan}(-)$$

(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.1)

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang:

$$\begin{aligned} A_{s_{pasang}} &= 4D28 \\ &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (28mm)^2 \\ &= 2463\ mm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'_{pasang}} &= 4D28 \\ &= 4 \times 0,25 \times 3,14 \times (28mm)^2 \\ &= 2463\ mm^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{lentur\ tumpuan}(+) &\geq \frac{1}{3} \times M_{lentur\ tumpuan}(-) \\ 2463\ mm^2 &\geq \frac{1}{3} \times 2463\ mm^2 \\ 2463\ mm^2 &\geq 821\ mm^2\ (memenuhi) \end{aligned}$$

Jadi, pada daerah lapangan, dipasang tulangan: 4D28

Kontrol kemampuan penampang

$$A_{s_{pakai\ tulangan\ tarik}} \quad 4D28 \quad = 2463\ mm^2$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \times f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{2463\ mm^2 \times 420\ N/mm^2}{0,85 \times 30\ N/mm^2 \times 500mm} \\ &= 81,13\ mm \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cc' &= 0,85 \times b \times f_c' \times a \\ &= 0,85 \times 500\ mm \times 30\ N/mm^2 \times 81,13\ mm \\ &= 1034407,5N \end{aligned}$$

$$Cs' = A_{s_{pakai}} \times f_y$$

$$= 2463 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2$$

$$= 1034463,629 \text{ N}$$

$$Mn = \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d'))$$

$$= \left(1034463,629 \text{ N} \times \left(589 \text{ mm} - \frac{90,149 \text{ mm}}{2} \right) \right) + \\ (1034463,629 \text{ N} \times (589 \text{ mm} - 61 \text{ mm}))$$

$$= 1099557596 \text{ Nmm}$$

Maka,

$$\theta Mn \geq Mu$$

$$0,8 \times 1099557596 \text{ Nmm} > 401728300 \text{ Nmm}$$

$$1684687187 \text{ Nmm} > 401728300 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

$$As_{pakai} \text{ tulangan tekan} \quad 2D28 = 1231,5 \text{ mm}^2$$

$$a = \frac{As \times fy}{0,85 \times fc' \times b}$$

$$= \frac{1231,5 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2}{0,85 \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 450 \text{ mm}}$$

$$= 45,07 \text{ mm}$$

$$Cc' = 0,85 \times b \times fc' \times a$$

$$= 0,85 \times 450 \text{ mm} \times 30 \text{ N/mm}^2 \times 45,07 \text{ mm}$$

$$= 517178,25 \text{ N}$$

$$Cs' = As_{pakai} \times fy$$

$$= 1231,5 \text{ mm}^2 \times 420 \text{ N/mm}^2$$

$$= 517178,25 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} Mn &= \left(Cc' \times \left(d - \frac{a}{2} \right) \right) + (Cs' \times (d - d')) \\ &= \left(517178,25 \text{ N} \times \left(589\text{mm} - \frac{45,07 \text{ mm}}{2} \right) \right) + \\ &\quad (517178,25 \text{ N} \times (589\text{mm} - 61\text{mm})) \\ &= 566033493,4 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Maka,

$$\theta Mn_{pasang} > Mu$$

$$0,8 \times 566033493,4 \text{ Nmm} > 58476840 \text{ Nmm}$$

$$452826794,7 \text{ Nmm} > 58476840 \text{ Nmm}$$

(memenuhi)

Jadi, penulangan lentur untuk balok B1 (45/65) As L[3-14] untuk daerah lapngan:

Tulangan Lentur Tarik susun 1 lapis = 4D28

Tulangan Lentur Tekan susun 1 lapis = 2D28

Perhitungan panjang penyaluran tulangan balok B1

Tarik dan tekan yang dihitung pada tulangan disetiap penampang komponen struktur beton harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang tersebut melalui panjang penanaman, kait, batang ulir berkepala (*headed deformed bar*) atau alat mekanis atau kombinasi darinya. Kait kepala (*heads*) tidak boleh digunakan untuk menyalurkan batang tulangan dalam kondisi tekan.

(SNI 2847:2013, Pasal 12.1.1)

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik, l_d harus ditentukan sesuai tabel dibawah ini atau dengan $l_d = \left(\frac{f_y}{1,1\lambda\sqrt{f'c}} \times \frac{\psi_t\psi_e\psi_s}{\left(\frac{c_b+K_{tr}}{d_b}\right)} \right)$ tapi l_d tidak boleh kurang dari 300 mm.

(SNI 2847:2013, Pasal 12.2.1)

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang l_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b	$\left(\frac{f_y\psi_t\psi_e}{2,1\lambda\sqrt{f'c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y\psi_t\psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_y\psi_t\psi_e}{1,4\lambda\sqrt{f'c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y\psi_t\psi_e}{1,1\lambda\sqrt{f'c}} \right) d_b$

(SNI 2847:2013, Pasal 12.2.2)

Digunakan persamaan

$$l_d = \left(\frac{f_y \times \psi_t \times \psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'c}} \right) d_b$$

Dengan:

$$\psi_t = 1,3 \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 12.2.4(a)})$$

$$\psi_e = 1 \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 12.2.4(b)})$$

$$\lambda = 1 \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 12.2.4(d)})$$

$$d_b = 28 \text{ mm}$$

$$l_d = \left(\frac{f_y \times \psi_t \times \psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f'c}} \right) d_b$$

$$l_d = \left(\frac{420 \frac{N}{mm^2} \times 1,3 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{N}{mm^2}}} \right) 28 \text{ mm}$$

$$l_d = 1641,879 \text{ mm}$$

Cek syarat:

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$1641,879 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{memenuhi}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih)

$$l_{d \text{ reduksi}} = \frac{A_{spertu}}{A_{spasang}} \times l_d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 12.2.5)

$$\begin{aligned} l_{d \text{ reduksi}} &= \frac{4551,615 \text{ mm}}{4926,017 \text{ mm}} \times 1641,879 \text{ mm} \\ &= 1517,088 \text{ mm} \approx 1600 \text{ mm} \end{aligned}$$

maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1600 mm.

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

$$\begin{aligned} l_{dh} &= \frac{\left(\frac{0,24 \times \psi_e \times f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right)}{d_b} \\ &= \left(\frac{0,24 \times \psi_e \times f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) \times d_b \end{aligned}$$

Dengan:

$$\psi_e \text{ dan } \lambda = 1$$

(SNI 2847:2013, Pasal 12.5.2)

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \times 1 \times 420 \frac{N}{mm^2}}{1 \sqrt{30 \frac{N}{mm^2}}} \right) \times 28 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 515,297 \text{ mm}$$

Cek syarat:

$$l_{dh} \geq 8d_b \quad \text{(SNI 2847:2013, Pasal 12.5.1)}$$

$$515,297 \text{ mm} \geq 8 \times 28 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{memenuhi}$$

$$l_{dh} \geq 224 \text{ mm} \quad \text{(SNI 2847:2013, Pasal 12.5.1)}$$

$$515,297 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{memenuhi}$$

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times fy}{\lambda \times \sqrt{fc'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times fy) \times d_b$$

(SNI 2847:2013, Pasal 12.3.2)

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times fy}{\lambda \times \sqrt{fc'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times 420 \text{ N/mm}^2}{1 \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2}} \right) 28 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 515,297 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0,043 \times fy) \times d_b$$

$$l_{dc} = \left(0,043 \times 420 \frac{N}{mm^2} \right) \times 28mm$$

$$l_{dc} = 505,68 \text{ mm}$$

Dipilih yang terbesar, sehingga $l_{dc} = 515,297 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih)

$$l_{dc \text{ reduksi}} = \frac{A_{sperlu}}{A_{s \text{ pasang}}} \times l_{dc}$$

(SNI 2847:2013, Pasal 12.3.3)

$$l_{dc \text{ reduksi}} = \frac{4551,615 \text{ mm}}{4926,017 \text{ mm}} \times 515,297 \text{ mm}$$

$$= 476,13 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$$

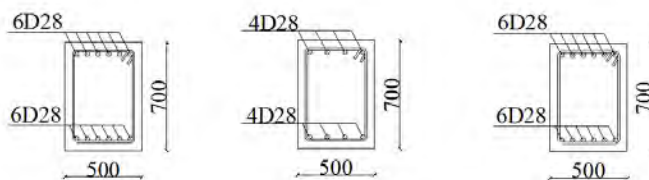
maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan 500mm.

Cek syarat:

$$l_{dc} \geq 200 \text{ mm}$$

$$500 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm}$$

→memenuhi



Tumpuan Kiri Lapangan Tumpuan Kanan

Gambar 0-7 Penulangan Lentur Sloof S1

Perhitungan panjang penyaluran tulangan balok S1

Tarik dan tekan yang dihitung pada tulangan disetiap penampang komponen struktur beton harus disalurkan pada masing-masing sisi penampang tersebut melalui panjang penanaman, kait, batang ulir berkepala (*headed deformed bar*) atau alat mekanis atau kombinasi darinya. Kait kepala (*heads*) tidak boleh digunakan untuk menyalurkan batang tulangan dalam kondisi tekan.

(SNI 2847:2013, Pasal 12.1.1)

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

Panjang penyaluran untuk batang tulangan ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik, l_d harus ditentukan sesuai tabel dibawah ini atau dengan $l_d = \left(\frac{fy}{1,1\lambda\sqrt{fc'}} \times \frac{\psi_t\psi_e\psi_s}{\left(\frac{c_b+K_{tr}}{d_b}\right)} \right)$ tapi l_d tidak boleh kurang dari 300 mm.

(SNI 2847:2013, Pasal 12.2.1)

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari d_b , selimut bersih tidak kurang dari d_b , dan sengkang atau pengikat sepanjang l_d tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari d_b	$\left(\frac{f_y\psi_t\psi_e}{2,1\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y\psi_t\psi_e}{1,7\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left(\frac{f_y\psi_t\psi_e}{1,4\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y\psi_t\psi_e}{1,1\lambda\sqrt{f_c'}} \right) d_b$

(SNI 2847:2013, Pasal 12.2.2)

Digunakan persamaan

$$l_d = \left(\frac{fy \times \psi_t \times \psi_e}{1,7\lambda\sqrt{fc'}} \right) d_b$$

Dengan:

$$\psi_t = 1,3 \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 12.2.4(a)})$$

$$\psi_e = 1 \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 12.2.4(b)})$$

$$\lambda = 1 \quad (\text{SNI 2847:2013, Pasal 12.2.4(d)})$$

$$d_b = 28 \text{ mm}$$

$$l_d = \left(\frac{f_y \times \psi_t \times \psi_e}{1,7 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_d = \left(\frac{420 \frac{N}{mm^2} \times 1,3 \times 1}{1,7 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{N}{mm^2}}} \right) 28 \text{ mm}$$

$$l_d = 1641,879 \text{ mm}$$

Cek syarat:

$$l_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$1641,879 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{memenuhi}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih)

$$l_{d \text{ reduksi}} = \frac{A_{s \text{ perlu}}}{A_{s \text{ pasang}}} \times l_d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 12.2.5)

$$l_{d \text{ reduksi}} = \frac{3891,67 \text{ mm}}{4310,27 \text{ mm}} \times 1641,879 \text{ mm}$$

$$= 1482,42 \text{ mm} \approx 1500 \text{ mm}$$

maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 1500 mm.

Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

$$l_{dh} = \frac{\left(\frac{0,24 \times \psi_e \times f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right)}{d_b}$$

$$= \left(\frac{0,24 \times \psi_e \times f_y}{\lambda \sqrt{f_c'}} \right) \times d_b$$

Dengan:

$$\psi_e \text{ dan } \lambda = 1$$

(SNI 2847:2013, Pasal 12.5.2)

$$l_{dh} = \left(\frac{0,24 \times 1 \times 420 \frac{N}{mm^2}}{1 \sqrt{30 \frac{N}{mm^2}}} \right) \times 28 \text{ mm}$$

$$l_{dh} = 515,297 \text{ mm}$$

Cek syarat:

$$l_{dh} \geq 8d_b \quad \text{(SNI 2847:2013, Pasal 12.5.1)}$$

$$515,297 \text{ mm} \geq 8 \times 28 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{memenuhi}$$

$$l_{dh} \geq 224 \text{ mm} \quad \text{(SNI 2847:2013, Pasal 12.5.1)}$$

$$515,297 \text{ mm} \geq 150 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{memenuhi}$$

Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = (0,043 \times f_y) \times d_b$$

(SNI 2847:2013, Pasal 12.3.2)

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times f_y}{\lambda \times \sqrt{f_c'}} \right) d_b$$

$$l_{dc} = \left(\frac{0,24 \times 420 \text{ N/mm}^2}{1 \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2}} \right) 28 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = 515,297 \text{ mm}$$

$$l_{dc} = (0,043 \times fy) \times d_b$$

$$l_{dc} = \left(0,043 \times 420 \frac{N}{mm^2}\right) \times 28mm$$

$$l_{dc} = 505,68 \text{ mm}$$

Dipilih yang terbesar, sehingga $l_{dc} = 515,297 \text{ mm}$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih)

$$l_{dc \text{ reduksi}} = \frac{As_{perlu}}{As_{pasang}} \times l_{dc}$$

(SNI 2847:2013, Pasal 12.3.3)

$$l_{dc \text{ reduksi}} = \frac{3891,67 \text{ mm}}{4310,27 \text{ mm}} \times 515,297 \text{ mm}$$

$$= 465,25 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$$

maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan 500mm.

Cek syarat:

$$l_{dc} \geq 200 \text{ mm}$$

$$500 \text{ mm} \geq 200 \text{ mm} \quad \rightarrow \text{memenuhi}$$

a.) Perhitungan Tulangan Geser

Data Perencanaan balok sebagai berikut:

$$f_c' = 30 \text{ N/mm}^2$$

$$f_y = 320 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_1 = 0,85$$

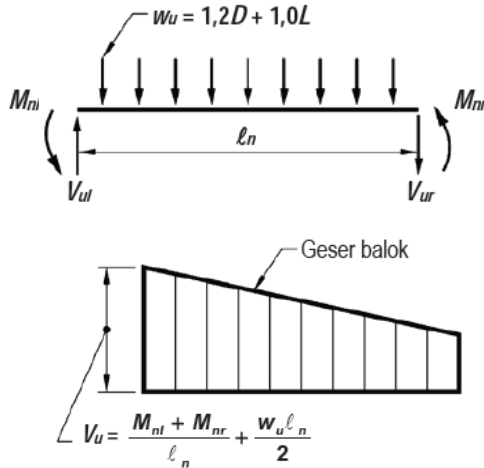
$$\phi_{\text{reduksi}} = 0,75$$

$$\text{Lebar} = 500 \text{ mm}$$

$$\text{Tinggi} = 700 \text{ mm}$$

$$\phi_{\text{sengkang}} = 12 \text{ mm}$$

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada S1 (50/70), didapat:



Gambar 4-0-82 Perencanaan Geser untuk Balok SRPMM

Gaya geser terfaktor = 411871,2 N

Gaya geser pada ujung perletakan diperoleh dari

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + \frac{W_u \times l_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u$$

(SNI 2847:2013, Pasal 21.3.3.1 (a))

Dimana:

V_{u1} : gaya geser pada muka perletakan

M_{nl} : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

M_{nr} : momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

l_n : panjang balok bersih

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{M_{nl} + M_{nr}}{l_n} + V_u \\ &= \frac{802373875 \text{ Nmm} + 803497375 \text{ Nmm}}{9600 \text{ mm}} + 411871,2 \text{ N} \\ &= 550575,3 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Beton

$$V_c = 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1)

Dengan:

$\lambda = 1$, untuk beton normal

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times 1 \times \sqrt{30 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} \times 500 \text{ mm} \times 624 \text{ mm} \\ &= 295167,7 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat Geser Tulangan Geser

$$\begin{aligned} V_{smin} &= \frac{1}{3} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times 500 \text{ mm} \times 624 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$= 105666,7 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} V_{S_{max}} &= \frac{1}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= \frac{1}{3} \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \times 500 \text{ mm} \times 624 \text{ mm} \\ &= 578760,2 \text{ N} \\ 2V_{S_{max}} &= \frac{2}{3} \times \sqrt{f'c'} \times b \times d \\ &= \frac{2}{3} \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \times 500 \text{ mm} \times 624 \text{ mm} \\ &= 1157520,3 \text{ N} \end{aligned}$$

Pembagian Wilayah Geser Balok

Wilayah balok dibagi menjadi 2 wilayah, yaitu:

- 1.) Wilayah tumpuan seperempat bentang bersih balok dari muka kolom.
- 2.) Wilayah lapangan dimulai dari akhir wilayah tumpuan sampai ketengah bentang balok.

Penulangan Geser Balok

a. Wilayah Tumpuan

$$V_u = 580905 \text{ N}$$

Cek Kondisi:

Kondisi Geser 1

$$V_u \leq 0,5 \times \phi \times V_c \quad \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$$580905 \text{ N} \leq 110687,89 \text{ N} \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

Kondisi Geser 2

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$110687,89 \text{ N} \leq 580905 \text{ N} \leq 221375,78 \text{ N} \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

Kondisi Geser 3

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{s_{min}}) \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$221375,78 \text{ N} \leq 580905 \text{ N} \leq 300625,8 \text{ N} \quad (\text{Tidak memenuhi})$$

Kondisi Geser 4

$$\emptyset(V_c + V_{s_{min}}) \leq V_u \leq \emptyset(V_c + V_{s_{max}}) \rightarrow \text{Perlu tulangan geser}$$

$$300625,8 \text{ N} \leq 580905 \text{ N} \leq 655445,93 \text{ N} \quad (\text{memenuhi})$$

Maka perencanaan penulangan geser balok diambil berdasarkan kondisi 4.

$$\begin{aligned} V_{s_{perlu}} &= \frac{V_u - \emptyset V_c}{\emptyset} \\ &= \frac{580905 \text{ N} - 221375,78 \text{ N}}{0,75} \\ &= 479372,29 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12mm, maka luasan tulangan geser:

$$A_v = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$= 2 \times \frac{1}{4} \times \pi \times (12\text{mm})^2$$

$$= 226,19\text{mm}^2$$

Jarak Tulangan Geser Perlu (S_{perlu})

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_y \times d}{V_{S_{\text{perlu}}}} \\ &= \frac{226,19\text{mm}^2 \times 320\text{N/mm}^2 \times 12\text{mm}}{479372,29\text{ N}} \\ &= 95,73\text{ mm, dipakai } 95\text{mm} \end{aligned}$$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser Berdasarkan Kondisi 4

$$S_{\text{max}} \leq \frac{d}{4} \quad (\text{SNI } 2847:2013, \text{ Pasal } 21.3.4.2)$$

$$95\text{mm} \leq \frac{624\text{mm}}{4}$$

$$95\text{mm} \leq 156\text{mm} \quad (\text{memenuhi})$$

$$S_{\text{max}} \leq 300$$

$$95\text{mm} \leq 300 \quad (\text{memenuhi})$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 12 - 95\text{mm}$.

b. Wilayah Lapangan

$$V_{u2} = \frac{V_{u1} \times (\frac{1}{2} \ln - \frac{1}{4} \ln)}{\frac{1}{2} \ln} = \frac{580905\text{N} \times (4800\text{mm} - 2400\text{mm})}{4800\text{ mm}}$$

$$= 290452,5\text{ N}$$

Cek Kondisi:

Kondisi Geser 1

$$V_u \leq 0,5 \times \emptyset \times V_c \rightarrow \text{Tidak perlu tulangan geser}$$

$$290452,5 \text{ N} \leq 110687,89 \text{ N} \text{ (tidak memenuhi)}$$

Kondisi Geser 2

$$0,5 \times \emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset \times V_c \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$110687,89 \text{ N} \leq 290452,5 \text{ N} \leq 221375,78 \text{ N} \\ \text{(Tidak memenuhi)}$$

Kondisi Geser 3

$$\emptyset \times V_c \leq V_u \leq \emptyset (V_c + V_{s_{min}}) \rightarrow \text{Tulangan geser minimum}$$

$$221375,78 \text{ N} \leq 290452,5 \text{ N} \leq 300625,8 \text{ N} \\ \text{(memenuhi)}$$

Dipasang tulangan geser lapangan= $\emptyset 12 - 155mm$

Kontrol Jarak Spasi Tulangan Geser

$$S_{max} \leq \frac{d}{4} \text{ (SNI 2847:2013, Pasal 21.3.4.2)}$$

$$155mm \leq \frac{624mm}{4}$$

$$155mm \leq 156mm \quad \text{(memenuhi)}$$

$$S_{max} \leq 300$$

$$155mm \leq 300 \quad \text{(memenuhi)}$$

Sehingga dipakai tulangan geser $\emptyset 12 - 155mm$.

Tabel 0.10 Penulangan Sloof

<i>Tipe Sloof</i>	<i>As</i>	<i>Penulangan</i>		
Sloof S1 (50/70)	K(4-15); L(4-15); M(4-15); N(4-15); O(4-15)	Torsi	-	-
		Lentur	Tarik	Tekan
		<i>Tumpuan Kiri</i>	6D28	6D28
		<i>Tumpuan Kanan</i>	6D28	6D28
		<i>Lapangan</i>	4D28	4D28
		Geser	Tumpuan	Lapangan
			Ø12 – 90	Ø12 – 155
Sloof S2 (40/55)	A(2-3); A(3-4); G(2-3); G(3-4); 4(G-K); 4(K-L); 4(L-M); 4(M-N); 4(N-O); 4(O-Q); 15(J-K); 15(K-L); 15(L-M); 15(M-N); 15(N-O); 15(O-P); Q(1-2); Q(2-3); Q(3-4); T(1-2); T(2-3); T(3-4)	Torsi	-	-
		Lentur	Tarik	Tekan
		<i>Tumpuan Kiri</i>	7D28	7D28
		<i>Tumpuan Kanan</i>	7D28	7D28
		<i>Lapangan</i>	5D28	5D28
		Geser	Tumpuan	Lapangan
			Ø12 – 50	Ø12 – 115
Sloof S3 25/35	2(A-G); 2(G-J); 3(A-G); 3(G-J); 4(A-G); J(2-3); J(3-7); J(7-15); P(2-3); P(3-7); P(7-15); 1(P-Q); 1(Q-T); 2(P-Q); 2(Q-T); 3(P-Q); 3(Q-T); 4(Q-T)	Torsi	-	-
		Lentur	Tarik	Tekan
		<i>Tumpuan Kiri</i>	3D28	3D28
		<i>Tumpuan Kanan</i>	3D28	3D28
		<i>Lapangan</i>	2D28	2D28
		Geser	Tumpuan	Lapangan
			Ø12 – 65	Ø12 – 65

4.4.3 Perhitungan Pile Cap dan Tiang Pancang

Pondasi merupakan bagian dari struktur bawah dari suatu bangunan. Pondasi memiliki fungsi sebagai penopang beban atau gaya total dari suatu gedung yang kemudian disalurkan kedalam tanah tanpa adanya keruntuhan tanah dan penurunan yang tidak merata pada bangunan.

Dalam perencanaan suatu pondasi harus mempertimbangkan beberapa faktor, diantaranya adalah kondisi dan struktur tanah yang dapat mempengaruhi daya dukung tanah dalam memikul suatu beban yang terjadi. Suatu pondasi yang baik tidak hanya kuat dan aman namun juga harus ditinjau dari segi keamanan dan memungkinkan pelaksanaannya dilapangan.

1. Data Perencanaan

Tipe pondasi	: P1
Kedalam tiang pancang	: 22,7 m
Diameter tiang pancang	: 45 cm = 0,45 m
P ijin bahan	: 134,9 ton
Berat tiang pancang per m	: 0,24 ton/m
Dimensi kolom	: 50/50 cm
Mutu beton pile cap	: 30 Mpa
Mutu baja pile cap	: 420 Mpa
Tebal selimut beton	: 75 mm = 0,75 m

(SNI 2847:2013, Pasal 7.7.1(a))

$$\begin{aligned}\text{Keliling tiang pancang} &: \pi \times D = \pi \times 0,45\text{m} \\ &= 1,41\text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas tiang pancang (Ap)} &= \frac{1}{4} \pi \times D^2 \\
 &= \frac{1}{4} \pi \times (0,45\text{m})^2 \\
 &= 0,159 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas selimut tiang pancang (As): } & \pi \times D \times \\
 & (L - \\
 & \text{dalam basement}) \\
 &= \pi \times 0,45\text{m} \\
 & \times (25\text{m} - 2,3\text{m}) \\
 &= 32,085 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Daya Dukung Ijin

Daya dukung ijin pondasi dihitung dari data SPT, diperoleh dari nilai penetrasi dan dalam perhitungannya menggunakan *Metode Mayerhoff* dan faktor keamanan $SF_1 = 3$. Dari data SPT dengan kedalaman 25 m didapatkan nilai sebagai berikut:

Nilai SPT ujung tiang ($N\text{-Value}$) = 16

Besar nilai rata-rata SPT Sepanjang tiang (N_{av}) = 9,9

3. Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tunggal

$$\begin{aligned}
 \bar{P}_t &= 40 \times Ap \times N + \frac{As \times N_{av}}{5} \\
 &= 40 \times 0,159\text{m}^2 \times 16 + \frac{32,085\text{m}^2 \times 9,9}{5} \\
 &= 165,33\text{ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{P}_t \text{ ijin tanah} &= \frac{\bar{P}_t}{SF} \\
 &= \frac{165,33 \text{ ton}}{3}
 \end{aligned}$$

$$= 55,11 \text{ ton}$$

Kekuatan bahan berdasarkan data tiang pancang dari PT. Wijaya Karya Beton untuk tipe C adalah \bar{P} *ijin bahan* = 134,9 ton

Cek persyaratan:

$$\bar{P}_t \text{ ijin tanah} < \bar{P} \text{ ijin bahan}$$

$$55,11 \text{ ton} < 134,9 \text{ ton} \quad \rightarrow \text{OK}$$

4. Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang

Diketahui OUTPUT SAP 2000 sebagai berikut:

Akibat Beban Kombinasi : 1D+1L

$$P = 206706,22 \text{ kg}$$

$$= 206,71 \text{ ton}$$

Akibat Beban Kombinasi : 1D+1L+1Ex

$$P = 208520,81 \text{ kg}$$

$$= 208,52 \text{ ton}$$

Akibat Beban Kombinasi : 1D+1L+1Ey

$$P = 220696,65 \text{ kg}$$

$$= 220,70 \text{ ton}$$

Dipilih P dengan nilai terbesar, sehingga didapatkan nilai $P_{\max} = 220,70 \text{ ton}$

1.) Perencanaan Dimensi Pile Cap Tipe 1

Perhitungan beban pondasi sebelum ditambahkan berat sendiri pile cap:

$$\begin{aligned}
 P_{max} &= 220,70 \text{ ton} + \\
 \Sigma P &= 220,70 \text{ ton} \\
 n &= \frac{\Sigma P}{\bar{P}_t \text{ ijin tanah}} \\
 &= \frac{220,70 \text{ ton}}{55,11 \text{ ton}} = 4,005 \approx 5 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Maka direncanakan tiang pancang sebanyak 4 buah.

Pada perencanaan pondasi tiang pancang dalam kelompok jarak antar tiang pancang (S):

Perhitungan jarak antar tiang pancang (s) :

$$2,5 \times D \leq S \leq 3 \times D$$

$$2,5 \times 45 \text{ cm} \leq S \leq 3 \times 45 \text{ cm}$$

$$112,5 \text{ cm} \leq S \leq 135 \text{ cm}$$

Maka dipakai $S = 112,5 \approx 113 \text{ cm}$

Sedangkan perhitungan jarak tiang pancang ke tepi pile cap (S') diperkirakan :

$$1,5 \times D \leq S \leq 2 \times D$$

$$1,5 \times 45 \text{ cm} \leq S \leq 2 \times 45 \text{ cm}$$

$$67,5 \text{ cm} \leq S \leq 90 \text{ cm}$$

Maka dipakai $S' = 68 \text{ cm}$

***(Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa Jilid 2,
Karl Terzaghi dan Ralph B. Peck)***

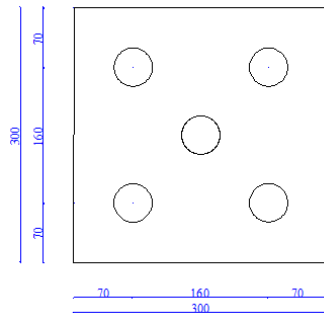
Periksa ulang kebutuhan tiang pancang setelah ditemukan dimensi pile cap:

Perhitungan beban pondasi setelah ditambahkan berat sendiri pile cap dengan tebal pile cap diasumsikan 55cm.

$$P_{max} = 220,70 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Pile Cap} &= (2,4 \text{ ton/m}^2 \times 3\text{m} \times 3\text{m} \times 0,55\text{m}) = 11,88 \text{ ton} \\
 \frac{\sum P}{n} &= \frac{\sum P}{P_t \text{ ijin tanah}} = \frac{11,88 \text{ ton}}{55,11 \text{ ton}} = 0,215 \approx 0,22 \text{ ton} \\
 n &= \frac{228,8 \text{ ton}}{0,22 \text{ ton}} = 1040 \approx 1040 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas dapat disimpulkan ukuran panjang dan lebar pile cap adalah:



Gambar Penampang Pile Cap Tipe 1

Jadi, dibutuhkan 5 buah tiang pancang dengan dimensi penampang pile cap (3x3 m)

5. Perhitungan Daya Dukung Pile Berdasarkan Efisiensi

perhitungan daya dukung pile dalam kelompok haruslah mempertimbangkan efisiensi dari hubungan tersebut:

$$\text{Efisiensi } (\eta) = 1 - \theta \frac{(n-1)m + (m-1)n}{90 \cdot m \cdot n}$$

Dimana :

m = banyaknya tiang dalam 1 baris
n = banyaknya baris

$$\begin{aligned}
 D &= \text{Diameter tiang pancang} \\
 s &= \text{jarak antar As tiang pancang} \\
 \theta &= \text{arc tg } D/s \\
 &= \text{arc tg } 45/112,5 = 0,229
 \end{aligned}$$

**(ANALISA DAN DESAIN PONDASI Jilid 2 hal 379,
Joseph E. Bowles)**

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi } (\eta) &= 1 - 0,229 \frac{(2-1)^2 + (2-1)^2}{90 \cdot 2 \cdot 2} \\
 &= 0,999
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{P}_{ijin \text{ tanah}} &= \eta \times \bar{P}_t \text{ ijin tanah} \\
 &= 0,999 \times 55,11 \text{ ton} = 55,105 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Cek syarat:

$$\bar{P}_{ijin \text{ tanah}} < \bar{P}_{ijin \text{ bahan}}$$

$$55,105 \text{ ton} < 134,9 \text{ ton} \rightarrow \text{OK}$$

$$\begin{aligned}
 \bar{P}_{tanah \text{ total}} &= \text{jumlah tiang} \times \bar{P}_{tanah} \\
 &= 5 \times 55,105 \text{ ton} \\
 &= 275,53 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Karena dimensi penampang pile cap dan tiang pancang sudah diperoleh, maka dilakukan pengecekan akhir antara $Pu_{max} \leq \bar{P}_{tanah \text{ total}}$.

Beban pondasi setelah ditambah berat sendiri tiang pancang dan pile cap:

$$Pu = 220,70 \text{ ton}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat Pile Cap} &= (2,4 \text{ ton/m}^2 \times 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times \\
 0,55 \text{ m}) &= 11,88 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri tiang pancang} &= (0,2 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \times \\
 22,7\text{m} \times 5) &= 22,74 \text{ ton} \\
 &= 258,74 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Cek syarat:

$$\begin{aligned}
 Pu_{\max} &\leq \bar{P}_{\text{tanah total}} \\
 258,74 \text{ ton} &\leq 274,79 \text{ ton} \rightarrow \text{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Reaksi perlawanan tanah (qt)} &= \frac{\Sigma P \text{ total}}{\text{luasan pile cap}} \\
 &= \frac{274,79 \text{ ton}}{3000\text{mm} \times 3000\text{mm}} \\
 &= 0,031 \text{ kg/mm}^2 \\
 &= 0,31 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

6. Perhitungan Geser Satu Arah pada Pile Cap Luasan Tributari At (mm²)

$$\begin{aligned}
 At &= \frac{L \text{ poer} - B \text{ kolom} - 2 t \text{ poer}}{2} \times b_{\text{pile cap}} \\
 &= \frac{3000\text{mm} - 500\text{mm} - 2d}{2} \times 3000 \text{ mm} \\
 &= (1250 \text{ mm} - d) \times 3000 \text{ mm} \\
 &= 3750000 \text{ mm}^2 - 3000 \text{ mm}^2 \cdot d
 \end{aligned}$$

Beban Gaya Geser Vu (N)

$$Vu = qt \times At$$

$$= 0,31 \text{ N/mm}^2 \times (3750000 \text{ mm}^2 - 3000 \text{ mm}^2 \cdot d)$$

$$= 1148025,612 - 918,42d$$

Gaya Geser yang Mampu Dipikul oleh Beton V_c (N)

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{30 \text{ N/mm}^2} \times b_w \times d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.2.1.1)

Syarat:

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$1148025,612 - 918,42d \leq 0,8 \times 0,17 \times \sqrt{30} \times 2475 \times d$$

$$1148025,612 - 918,42d \leq 2235d$$

$$1147532,63 \leq 3153,42 d$$

$$d \leq 364,09 \text{ mm}$$

7. Perhitungan Geser Dua Arah pada Pile Cap

Perencanaan pelat atau pondasi telapak aksi dua arah, untuk beton non-prategang, maka V_c harus memenuhi persamaan berikut dengan mengambil nilai V_c terkecil.

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \sqrt{f'c} \times b_o \times d$$

Dimana :

$$\begin{aligned}\beta_c &= \text{rasio dari sisi panjang terhadap sisi pendek kolom} \\ \beta_c &= 500/500 = 1 \\ b_o &= \text{keliling dari penampang kritis}\end{aligned}$$

$$Vc = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

Dimana :

$$\begin{aligned}\alpha_s &= 40 \text{ untuk kolom tengah} \\ \alpha_s &= 30 \text{ untuk kolom tepi} \\ \alpha_s &= 20 \text{ untuk kolom sudut}\end{aligned}$$

$$Vc = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (a), (b), (c))

Luasan Tributari At (mm²)

$$\begin{aligned}At &= (l_{pile\ cap} \times b_{pile\ cap}) - ((h_{kolom} + t_{pile\ cap}) \times (b_{kolom} + t_{pile\ cap})) \\ &= (3000mm \times 3000mm) - ((500mm + d) \times (500mm + d)) \\ &= 8750000 - 1000d - d^2\end{aligned}$$

Beban Gaya Geser Vu (N)

$$\begin{aligned}Vu &= qt \times At \\ &= 0,3 \times (8750000 - 1000d - d^2) \\ &= 2678726,43 + 306,14d + 0,31d^2\end{aligned}$$

Persamaan 1

$$V_c = 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{\beta_c}\right) \times \sqrt{f_c'} \times b_o \times d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (a))

$$\begin{aligned} &= 0,17 \times \left(1 + \frac{2}{1}\right) \times \sqrt{30 \frac{N}{mm^2}} \times (2 \times \\ &(500mm + 500mm) + 4d) \times d \\ &= 0,17 \times 3 \times 5,48 \times (2000 + 4d) \times d \\ &= 5586,77d + 11,174d^2 \end{aligned}$$

Cek syarat:

$$V_u \leq \phi V_c$$

$$2678726,43 + 306,14d + 0,31d^2 \leq 0,8 \times (5586,77d + 11,174d^2)$$

$$0 \leq -2678726,43 + 4163,28d + 8,63d^2$$

$$\begin{aligned} d_{12} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-4163,28 \pm \sqrt{(4163,28)^2 - (4 \times 8,63 \times 2678726,43)}}{2 \times 8,63} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_1 &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-4163,28 + \sqrt{(4163,28)^2 - (4 \times 8,63 \times 2678726,43)}}{2 \times 8,63} \\ &= 290,35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2 &= \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-4163,28 - \sqrt{(4163,28)^2 - (4 \times 8,63 \times 2678726,43)}}{2 \times 8,63} \\ &= -803,68 \end{aligned}$$

Akar yang memenuhi syarat adalah $d_1 = 209,35$.

Persamaan 2

$$Vc = 0,083 \times \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \times \sqrt{f'c'} \times b_o \times d$$

(SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (b))

$$= 0,083 \times \left(\frac{40 \times d}{(2 \times (500 + 500) + 4d)} + 2 \right) \times \sqrt{30} \times (2 \times (500 + 500) + 4d) \times d$$

$$= 0,083 \times \left(\frac{40d}{(2000 + 4d)} + 2 \right) \times 5,48 \times (2000 + 4d) \times d$$

$$= 7302,97d + 18,26d^2$$

Cek syarat:

$$Vu \leq \phi Vc$$

$$2678726,43 + 306,14d + 0,31d^2 \leq 0,8(7302,97d + 18,26d^2)$$

$$0 \leq -2678726,43 + 5842,38d + 14,3d^2$$

$$\begin{aligned} d_{12} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-5842,38 \pm \sqrt{(5842,38)^2 - (4 \times 14,3 \times -2678726,43)}}{2 \times 14,3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_1 &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-5842,38 + \sqrt{(5842,38)^2 - (4 \times 14,3 \times -2678726,43)}}{2 \times 14,3} \\ &= 226,68 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2 &= \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-5842,38 - \sqrt{(5842,38)^2 - (4 \times 14,3 \times -2678726,43)}}{2 \times 14,3} \end{aligned}$$

$$= -636,58$$

Akar yang memenuhi syarat adalah $d_1 = 226,68$.

Persamaan 3

$$\begin{aligned} Vc &= 0,33 \times \sqrt{fc'} \times b_o \times d \\ &\quad (SNI 2847:2013, Pasal 11.11.2.1 (c)) \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times (2 \times (500 + 500) + 4d) \times d \\ &= 0,33 \times 5,48 \times (2000 + 4d) \times d \\ &= 1,8 \times (2000d + 4d^2) \\ &= 3614,97d + 7,23d^2 \end{aligned}$$

Cek syarat:

$$Vu \leq \phi Vc$$

$$\begin{aligned} &2678726,43 + 306,14d + 0,31d^2 \leq \\ &0,8(3614,97d + 7,23d^2) \end{aligned}$$

$$0 \leq -2678726,43 + 2585,84d + 5,47d^2$$

$$\begin{aligned} d_{12} &= \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-2585,84 \pm \sqrt{(2585,84)^2 - (4 \times 5,47 \times -2678726,43)}}{2 \times 5,47} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_1 &= \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-2585,84 + \sqrt{(2585,84)^2 - (4 \times 5,47 \times -2678726,43)}}{2 \times 5,47} \\ &= 390,33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_2 &= \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \\ &= \frac{-2585,84 - \sqrt{(2585,84)^2 - (4 \times 5,47 \times -2678726,43)}}{2 \times 5,47} \end{aligned}$$

$$= -910,64$$

Akar yang memenuhi syarat adalah $d_1 = 390,33$.

Maka dipakai $d = 390,33 \text{ mm}$

Dipakai $h = \text{tebal selimut} + D \text{ tul. Poer} + \frac{1}{2} D \text{ tul. Poer} + D \text{ rencana}$

$$= 75 \text{ mm} + 19 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm} + 390,33 \text{ mm}$$

$$= 493 \text{ mm} \approx 500 \text{ mm}$$

Cek berdasarkan panjang penyaluran tulangan kolom

Panjang sambungan lewatan kolom

$$L_d = 0,071 \times f_y \times d_b$$

(SNI 2847:2013 Pasal 12.16.1)

$$= 0,071 \times 420 \text{ Mpa} \times 19 \text{ mm}$$

$$= 566,58 \text{ mm}$$

Cek persyaratan:

$$L_d \geq 300 \text{ mm}$$

$$566,58 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm} \rightarrow \text{memenuhi}$$

Bengkokan 90° ditambah perpanjangan 12 db pada ujung bebas kait.

$$L = 12 d$$

$$= 12 \times 19 \text{ mm}$$

$$= 228 \text{ mm}$$

$$L_d \text{ vertikal} = 566,58 \text{ mm} - 228 \text{ mm}$$

$$= 338,58 \text{ mm}$$

$$300 \text{ mm} < 338,58 \text{ mm} \rightarrow (\text{memenuhi})$$

Maka dipakai tinggi poer 550 mm.

8. Perhitungan Daya Dukung Tiang dalam Kelompok

Dari output SAP 2000 didapatkan gaya-gaya dalam sebagai berikut:

Akibat Beban Kombinasi : 1D+1L

$$P = 206706,22 \text{ kg}$$

$$M_x = -22,81 \text{ kgm}$$

$$M_y = 144,88 \text{ kgm}$$

Akibat Beban Kombinasi : 1D+1L+1Ex

$$P = 208520,81 \text{ kg}$$

$$M_x = 16,05 \text{ kgm}$$

$$M_y = 2802,67 \text{ kgm}$$

Akibat Beban Kombinasi : 1D+1L+1Ey

$$P = 220696,65 \text{ kg}$$

$$M_x = -21,5 \text{ kgm}$$

$$M_y = 224,72 \text{ kgm}$$

P Akibat Pengaruh Beban Sementara

Akibat Beban Kombinasi : 1D+1L+1Ey

$$P = 220696,65 \text{ kg}$$

$$M_x = -21,5 \text{ kgm}$$

$$M_y = 224,72 \text{ kgm}$$

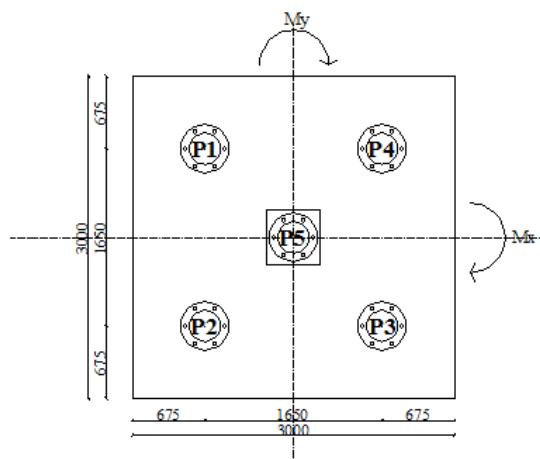
Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban sementara adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Berat sendiri pile cap} &= (2,4 \text{ ton/m}^3 \times 3\text{m} \times \\ &3\text{m} \times 0,5\text{m}) = 10,8 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\underline{\text{Beban aksial kolom}} = 220,7 \text{ ton}$$

$$\Sigma P$$

$$= 231,5 \text{ ton}$$



Gambar Penampang Pile Cap Akibat Beban Sementara

Tabel Perhitungan Jarak X dan Y

	X (m)	X ² (m)
X1	0,8	0,64
X2	0,8	0,64
X3	0,8	0,64
X4	0,8	0,64
X5	0	0
ΣX^2		2,56
	Y (m)	Y ² (m)
Y1	0,8	0,64

Y2	0,8	0,64
Y3	0,8	0,64
Y4	0,8	0,64
Y5	0	0
ΣY^2		2,56

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{My \times X}{\Sigma X^2} \pm \frac{Mx \times Y}{\Sigma y^2} \\
 P_1 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{My \times X}{\Sigma X^2} + \frac{Mx \times Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{231,5 \text{ ton}}{5} - \frac{0,22 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} + \frac{-0,021 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} \\
 &= 46,22 \text{ ton} \\
 P_2 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{231,5 \text{ ton}}{5} - \frac{0,22 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} - \frac{-0,021 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} \\
 &= 46,24 \text{ ton} \\
 P_3 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{231,5 \text{ ton}}{5} + \frac{0,22 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} + \frac{-0,021 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} \\
 &= 46,36 \text{ ton} \\
 P_4 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{231,5 \text{ ton}}{5} + \frac{0,22 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} - \frac{-0,021 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} \\
 &= 46,38 \text{ ton} \\
 P_5 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{231,5 \text{ ton}}{5} + \frac{0,22 \text{ ton} \times 0}{2,56} + \frac{-0,021 \text{ ton} \times 0}{2,56} \\
 &= 46,3 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah $P_1 = 46,38$ ton

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2(2), untuk daya dukung tiang yang diizinkan dengan memakai kombinasi beban sementara dapat dinaikkan sampai 30%.

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &= & P_1 &\leq P_{\text{ijin tanah}} \\
 &= 46,38 \text{ ton} & &\leq 55,11 \text{ ton} \\
 &= 46,38 \text{ ton} & &\leq 55,11 \text{ ton} \rightarrow \text{memenuhi}
 \end{aligned}$$

Akibat Beban Kombinasi : 1D+1L+1Ex

$$P = 208520,81 \text{ kg}$$

$$M_x = 16,05 \text{ kgm}$$

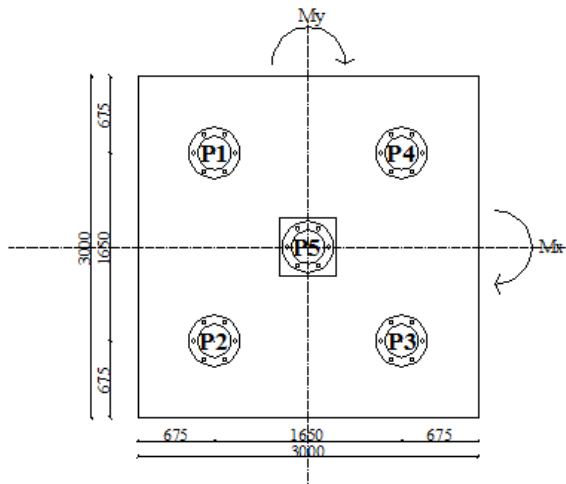
$$M_y = 2802,67 \text{ kgm}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban sementara adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat sendiri pile cap} &= (2,4 \text{ ton/m}^3 \times 3\text{m} \times \\
 &3\text{m} \times 0,5\text{m}) & &= 10,8 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

$$\underline{\text{Beban aksial kolom}} = 208,52 \text{ ton}$$

$$\Sigma P = 219,32 \text{ ton}$$



Gambar Penampang Pile Cap Akibat Beban Sementara

Tabel Perhitungan Jarak X dan Y

	X (m)	X ² (m)
X1	0,8	0,64
X2	0,8	0,64
X3	0,8	0,64
X4	0,8	0,64
X5	0	0
$\sum X^2$		2,56
	Y (m)	Y ² (m)
Y1	0,8	0,64
Y2	0,8	0,64

Y3	0,8	0,64
Y4	0,8	0,64
Y5	0	0
ΣY^2		2,56

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang

$$P = \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{My \times X}{\Sigma X^2} \pm \frac{Mx \times Y}{\Sigma y^2}$$

$$\begin{aligned} P_1 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{My \times X}{\Sigma X^2} + \frac{Mx \times Y}{\Sigma y^2} \\ &= \frac{219,32 \text{ ton}}{5} - \frac{2,8 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} + \frac{0,016 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} \\ &= 42,99 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_2 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2} \\ &= \frac{219,32 \text{ ton}}{5} - \frac{2,8 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} - \frac{0,016 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} \\ &= 42,98 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_3 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2} \\ &= \frac{219,32 \text{ ton}}{5} + \frac{2,8 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} + \frac{0,016 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} \\ &= 44,75 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_4 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2} \\ &= \frac{219,32 \text{ ton}}{5} + \frac{2,8 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} - \frac{0,016 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} \\ &= 44,73 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_5 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2} \\ &= \frac{219,32 \text{ ton}}{5} + \frac{2,8 \text{ ton} \times 0}{2,56} + \frac{0,016 \text{ ton} \times 0}{2,56} \\ &= 43,86 \text{ ton} \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah $P = 44,75 \text{ ton}$

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2(2), untuk daya dukung tiang yang diizinkan dengan memakai kombinasi beban sementara dapat dinaikkan sampai 30%.

$$\begin{array}{rcl}
 P_{\max} & = & P_1 \leq P_{\text{ijin tanah}} \\
 & = & 44,75 \text{ ton} \leq 55,11 \text{ ton} \\
 & = & 44,75 \text{ ton} \leq 55,11 \text{ ton} \rightarrow \text{memenuhi}
 \end{array}$$

P Akibat Pengaruh Beban Tetap

Akibat Beban Kombinasi : 1D+1L

$$P = 206706,22 \text{ kg}$$

$$M_x = -22,81 \text{ kgm}$$

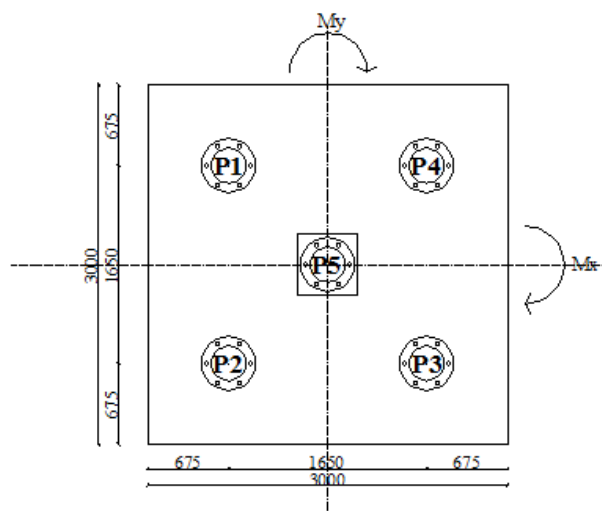
$$M_y = 144,88 \text{ kgm}$$

Beban vertikal yang bekerja akibat pengaruh beban sementara adalah sebagai berikut:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Berat sendiri pile cap} & = & (2,4 \text{ ton/m}^3 \times 3\text{m} \times 3\text{m} \times 0,5\text{m}) \\
 & & = 10,8 \text{ ton}
 \end{array}$$

$$\underline{\text{Beban aksial kolom} = 206,72 \text{ ton}}$$

$$\Sigma P = 217,51 \text{ ton}$$



Gambar Penampang Pile Cap Akibat Beban Sementara

Tabel Perhitungan Jarak X dan Y

	X (m)	X^2 (m)
X1	0,8	0,64
X2	0,8	0,64
X3	0,8	0,64
X4	0,8	0,64
X5	0	0
ΣX^2		2,56
	Y (m)	Y^2 (m)
Y1	0,8	0,64

Y2	0,8	0,64
Y3	0,8	0,64
Y4	0,8	0,64
Y5	0	0
ΣY^2		2,56

Gaya yang dipikul masing-masing tiang pancang

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{\Sigma P}{n} \pm \frac{My \times X}{\Sigma X^2} \pm \frac{Mx \times Y}{\Sigma y^2} \\
 P_1 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{My \times X}{\Sigma X^2} + \frac{Mx \times Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{217,51 \text{ ton}}{5} - \frac{0,14 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} + \frac{-0,022 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} \\
 &= 43,45 \text{ ton} \\
 P_2 &= \frac{\Sigma P}{n} - \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{217,51 \text{ ton}}{5} - \frac{0,14 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} + \frac{-0,022 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} \\
 &= 43,46 \text{ ton} \\
 P_3 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{217,51 \text{ ton}}{5} - \frac{0,14 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} + \frac{-0,022 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} \\
 &= 43,54 \text{ ton} \\
 P_4 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} - \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{217,51 \text{ ton}}{5} - \frac{0,14 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} + \frac{-0,022 \text{ ton} \times 0,8}{2,56} \\
 &= 43,55 \text{ ton} \\
 P_5 &= \frac{\Sigma P}{n} + \frac{My \cdot X}{\Sigma X^2} + \frac{Mx \cdot Y}{\Sigma y^2} \\
 &= \frac{217,51 \text{ ton}}{5} - \frac{0,14 \text{ ton} \times 0}{2,56} + \frac{-0,022 \text{ ton} \times 0}{2,56} \\
 &= 43,5 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Maka beban maksimum yang diterima satu tiang pancang adalah $P = 43,55 \text{ ton}$

Berdasarkan Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG) pasal 1.2(2), untuk daya dukung tiang yang diizinkan dengan memakai kombinasi beban sementara dapat dinaikkan sampai 30%.

$$\begin{aligned}
 P_{\max} &= P_1 \leq P_{\text{ijin tanah}} \\
 &= 43,55 \text{ ton} \leq 55,11 \text{ ton} \\
 &= 43,55 \text{ ton} \leq 55,11 \text{ ton} \rightarrow \text{memenuhi}
 \end{aligned}$$

9. Perencanaan Tulangan Lentur

Pada perencanaan tulangan lentur, pile cap diasumsikan sebagai balok kantilever jepit dengan perletakan jepit pada kolom yang dibebani oleh reaksi tiang pancang dan berat sendiri pile cap. Pada perencanaan penulangan ini digunakan pengaruh beban sementara, karena P beban sementara lebih besar daripada P beban tetap.

Data Perencanaan:

Dimensi pile cap	: 3m x 3m x 0,55m
Jumlah tiang pancang	: 5 buah
Dimensi kolom	: 50cm x 50cm
Mutu beton (f_c')	: 30Mpa
Mutu baja (f_y)	: 420Mpa
Diameter Tul. utama	: 19mm
Selimut beton	: 75mm=0,075m
h	: 500mm

$$\varphi : 0,8$$

$$\begin{aligned} dx &= h - \text{decking} - \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tul. Lentur} \\ &= 500 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm} \\ &= 416 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} dy &= h - \text{decking} - \emptyset \text{ tul. Lentur} - \frac{1}{2} \cdot \emptyset \text{ tul. Lentur} \\ &= 500 \text{ mm} - 75 \text{ mm} - 19 \text{ mm} - \frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm} \\ &= 397 \text{ mm} \end{aligned}$$

Penulangan Pile Cap Arah X

Pembebanan yang terjadi pada poer adalah :

$$\begin{aligned} q_u &= (2,4 \text{ ton}/m^3 \times 3m \times 3m \times 0,5m) \\ &= 10,8 \text{ ton} \end{aligned}$$

$P_{\max} = P_1$ beban tiang dari bawah akibat beban (1D+1L+1Ex)

$$\begin{aligned} P &= P_1 \times (\text{n tiang pacang}/2) \\ &= 44,75 \text{ ton} \times (4/2) \\ &= 89,49 \text{ ton} \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah :

$$\begin{aligned} M_u &= (M_q - M_p) \times 1,4 \\ &= ((q_u \cdot \frac{1}{2} bl) - (P \times \text{jarak as tiang ke tepi kolom})) \times 1,4 \\ &= ((10,8 \text{ ton} \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,65) - (46,38 \text{ ton} \times 0,5m)) \times 1,4 \\ &= -27,81 \text{ ton} \\ &= -278115,08 \text{ Nmm} \\ &= 278115,08 \text{ Nmm (ambil nilai mutlak)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\varphi} \\ &= \frac{278115,08 \text{ Nmm}}{0,8} \\ &= 347643,86 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= \frac{M_n}{b \cdot (d_x)^2} \\
 &= \frac{347643,86 \text{ Nmm}}{3000 \text{ mm} \times (416 \text{ mm})^2} \\
 &= 0,0007 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\
 &= \frac{420 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} \\
 &= 16,47
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\
 &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,47 \cdot 0,0007 \text{ N/mm}^2}{420 \text{ MPa}}} \right) \\
 &= 0,000002
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f_{c'} \times \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\
 &= \frac{0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 0,85}{420 \text{ MPa}} \left(\frac{600}{600 + 420 \text{ MPa}} \right) \\
 &= 0,03
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{min}} &= \frac{1,4}{f_y} \\
 &= \frac{1,4}{420 \text{ MPa}} \\
 &= 0,0033
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{max}} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0,75 \times 0,03 \\
 &= 0,225
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\rho_{\text{min}} < \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}}$$

$$0,0033 > 0,000002 < 0,225 \quad \textbf{(tidak memenuhi)}$$

Maka dipakai $\rho_{\min} = 0,0033$

$$\begin{aligned} A_s \text{ perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times dx \\ &= 0,0033 \times 3000 \text{ mm} \times 416 \text{ mm} \\ &= 3965 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$S \leq S_{\text{maks}}$$

$$S_{\text{maks}} = 2h$$

$$= 2 \times 500 \text{ mm}$$

$$= 1000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \times 3,14 \times (19 \text{ mm})^2 \times 3000 \text{ mm}}{3965 \text{ mm}^2} \\ &= 214,52 \text{ mm} < 1000 \text{ mm (OK)} \end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

Tulangan yang dipakai Ø19 – 200

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{pakai}}} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 19 \text{ mm}^2 \times 3000 \text{ mm}}{200} \\ &= 4252,93 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :

$$A_{S_{\text{pakai}}} > A_{S_{\text{perlu}}}$$

$$4252,93 \text{ mm}^2 > 3965 \text{ mm}^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$

Penulangan Pile Cap Arah Y

Pembebanan yang terjadi pada poer adalah :

$$q_u = (2,4 \text{ ton/m}^3 \times 3 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 0,5 \text{ m})$$

$$= 10,8 \text{ ton}$$

$P_{max} = P_1$ beban tiang dari bawah akibat beban (1D+1L+1Ey)

$$\begin{aligned} P &= P_1 \times (n \text{ tiang pacang}/2) \\ &= 46,38 \text{ ton} \times (4/2) \\ &= 92,75 \text{ ton} \end{aligned}$$

Momen yang terjadi pada poer adalah :

$$\begin{aligned} M_u &= (M_q - M_p) \times 1,4 \\ &= ((q_u \cdot \frac{1}{2} bl) - (P \times \text{jarak as tiang ke tepi kolom})) \times 1,4 \\ &= ((10,8 \text{ ton} \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,65) - (46,38 \text{ ton} \times 0,5 \text{ m})) \times 1,4 \\ &= -85,86 \text{ ton} \\ &= -858661,73 \text{ Nmm} \\ &= 858661,73 \text{ Nmm (ambil nilai mutlak)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= \frac{M_u}{\phi} \\ &= \frac{858661,73 \text{ Nmm}}{0,8} \\ &= 1073327,16 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= \frac{M_n}{b \cdot (d_x)^2} \\ &= \frac{1073327,16 \text{ Nmm}}{3000 \text{ mm} \times (416 \text{ mm})^2} \\ &= 0,0000031 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \times f_{c'}} \\ &= \frac{420 \text{ MPa}}{0,85 \times 30 \text{ MPa}} \\ &= 16,47 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{perlu}} &= \frac{1}{m} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right) \\ &= \frac{1}{16,47} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 16,47 \cdot 0,0000031 \text{ N/mm}^2}{420 \text{ MPa}}} \right) \\ &= 0,000000007 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{balance}} &= \frac{0,85 \times f_c' \times \beta}{f_y} \left(\frac{600}{600 + f_y} \right) \\ &= \frac{0,85 \times 30 \text{ MPa} \times 0,85}{420 \text{ MPa}} \left(\frac{600}{600 + 420 \text{ MPa}} \right) \\ &= 0,03\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{min}} &= \frac{1,4}{f_y} \\ &= \frac{1,4}{420 \text{ MPa}} \\ &= 0,0033\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{max}} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,03 \\ &= 0,225\end{aligned}$$

Syarat :

$$\begin{aligned}\rho_{\text{min}} &< \rho_{\text{perlu}} < \rho_{\text{max}} \\ 0,0033 &> 0,000000007 < 0,0225 \text{ (tidak memenuhi)}\end{aligned}$$

Maka dipakai $\rho_{\text{min}} = 0,0033$

$$\begin{aligned}\text{As perlu} &= \rho_{\text{pakai}} \times b \times d_x \\ &= 0,0033 \times 3000 \text{ mm} \times 416 \text{ mm} \\ &= 3965 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Syarat spasi antar tulangan

$$S \leq S_{\text{maks}}$$

$$\begin{aligned}S_{\text{maks}} &= 2h \\ &= 2 \times 500 \text{ mm} \\ &= 1000 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{\text{As}} \\ &= \frac{0,25 \times 3,14 \times (19 \text{ mm})^2 \times 3000 \text{ mm}}{3965 \text{ mm}^2} \\ &= 214,52 \text{ mm} < 1000 \text{ mm (OK)}\end{aligned}$$

$$S_{\text{pakai}} = 200 \text{ mm}$$

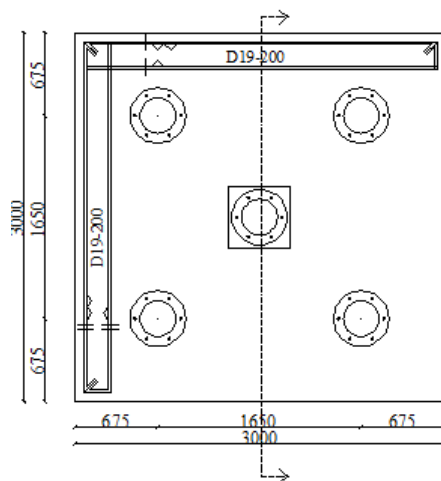
Tulangan yang dipakai Ø19 – 200

$$\begin{aligned}
 A_{spakai} &= \frac{0,25 \times \pi \times \phi^2 \times b}{S_{pakai}} \\
 &= \frac{0,25 \times 3,14 \times 19mm^2 \times 3000 mm}{200} \\
 &= 4252,93 mm^2
 \end{aligned}$$

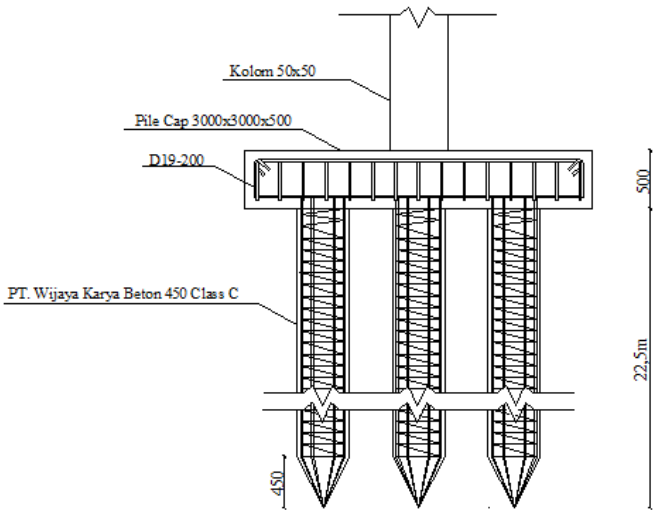
Syarat :

$$A_{spakai} > A_{sperlu}$$

$$4252,93 mm^2 > 3965 mm^2 \rightarrow \text{Memenuhi}$$



Gambar Penulangan Pile Cap



Gambar Detail Penulangan Pile Cap

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Gedung SMA Al Hikmah Surabaya yang mampu menahan beban gempa dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Mengengah (SRPMM) dan mempunyai dimensi struktur sesuai dengan persyaratan SNI 2847:2013, SNI 03-1729-2002, SNI 03-1729-2002 sebagai berikut:

5.1.1 Struktur Sekunder

1. Pelat

Pelat lantai 1 hingga lantai 3 adalah pelat dua arah setebal 12cm dengan tulangan tumpuan dan lapangan $\varnothing 12 - 200mm$. Pelat atap adalah pelat dua arah setebal 12cm dengan tulangan lapangan dan tumpuan $\varnothing 10 - 200mm$.

2. Tangga

- a. Lebar injakan tangga = 19cm
- b. Tinggi tanjakan tangga = 27 cm
- c. Pelat tangga memiliki ketebalan = 12 cm dengan penulangan memanjang $\varnothing 10-50$ dan penulangan melintang $\varnothing 10-160$.

3. Atap

- a. Profil Gording LLC 150.75.20.4,5
- b. Penggantung Gording $\varnothing 10$
- c. Ikatan angin $\varnothing 10$
- d. Profil Kuda-kuda wf 250.125.6.9
- e. Profil kolom pendek wf 250.125.6.9
- f. Tebal pelat landas 12mm

5.1.2 Struktur Primer

1. Balok

- a. Balok B1 dengan dimensi 45/65 dengan tulangan torsi 2D16, penulangan lentur tumpuan tekan 2D28,

- penulangan lentur tumpuan tarik 8D28 dan penulangan geser tumpuan Ø12-85 serta geser lapangan Ø12-145.
- b. Balok B2 dengan dimensi 35/50 dengan tulangan torsi 2D16, penulangan lentur tumpuan kiri tekan 2D28, penulangan lentur tumpuan kiri tarik 3D28, penulangan lentur tumpuan kanan tekan 2D28, penulangan lentur tumpuan kanan tarik 5D28, penulangan lentur lapangan tekan 2D28, penulangan lentur lapangan tarik 2D28 dan penulangan geser tumpuan Ø12-75 serta geser tumpuan Ø12-100 dan lapangan Ø12-105.
 - c. Balok B3 dengan dimensi 20/30 dengan tulangan torsi 2D16, penulangan lentur 2D28 dan penulangan geser Ø12-55.
 - d. Balok B4 dengan dimensi 20/35 dengan penulangan lentur 2D28, dan penulangan geser Ø12-70.
 - e. Balok B5 dengan dimensi 20/25 dengan tulangan torsi 2D16, penulangan lentur tumpuan kiri tekan 2D22, penulangan lentur tumpuan kiri tarik 4D22, penulangan lentur tumpuan kanan 2D22, penulangan lentur lapangan 2D22, dan penulangan geser Ø12-45.
 - f. Balok Bordes dengan dimensi 20/25 dengan tulangan lentur 2D22 dan tulangan geser Ø10-45.

2. Kolom

- a. Kolom K1 dimensi 50/50 dengan penulangan lentur 20D28 dan penulangan geser Ø10-65.
- b. Kolom K2 dimensi 40/40 dengan penulangan lentur 8D28 dan penulangan geser Ø10-160.
- c. Kolom K3 dimensi 30/30 dengan penulangan lentur 8D28 dan penulangan geser Ø10-150.

5.1.3 Struktur Bawah

1. *Basement*

- a. Tebal Plat Lantai basement 20cm dengan penulangan memanjang Ø13-50 dan penulangan melintang Ø13-50
- b. Tebal dinding basement 20cm dengan penulangan horizontal Ø13-260 dan penulngan vertikal Ø13-250.

2. *Sloof*

- g. Sloof S1 dengan dimensi 50/70 dengan penulangan lentur tumpuan 6D28, lentur lapangan 4D28 dan tulangan geser Ø12-100.
- h. Sloof S2 dengan dimensi 40/55 dengan penulangan lentur tumpuan 7D28, lentur lapangan 5D28 dan tulangan geser Ø12-65.
- i. Sloof S3 dengan dimensi 25/35 dengan penulangan lentur tumpuan 4D28, lentur lapangan 2D28 dan tulangan geser Ø12-65.

2. *Tiang Pancang dan Pile Cap*

- a. Digunakan tiang pancang dari PT. Wijaya Karya Beton dengan diameter 45cm (tipe C) untuk pondasi tipe P1 dan P2, sedangkan untuk pondasi tipe P3 menggunakan tiang pancang dengan diameter 35cm (tipe C).
- b. Kedalaman tiang pancang 25m (panjang pancang=22,5m).
- c. Digunakan penulangan lentur pile cap D19-200 untuk arah X maupun arah Y.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, Ali. (2010). *Balok dan Pelat Beton Bertulang*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1971). *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971)*. Jakarta: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1983). *Peraturan Pembebanan Indonesia Untuk Gedung (PPIUG 1983)*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Departemen Pekerjaan Umum. (1984). *Peraturan Perencanaan Bangunan Baja Indonesia (PPBBI 1984)*. Bandung: Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2002). *SNI 03-1729-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726- 2012)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2013). *Persyaratan Beton Struktural untuk Baangunan Gedung (SNI 2847- 2013)*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Hardiyatmo, Hary Christandy. (2011). *Analisis dan Perancangan Fondasi Bagian II edisi ke-2*. Yogyakarta: Gadjra Mada University Press.
- Setiawan, Agus. (2008). *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Jakarta: Erlangga.

- Sosrodarsono, Ir.Suyono dan Nakazawa, Kazuto. (1983). *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi cetakan Kedua*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Wang, C. K. dan Salmon, C. G. (1990). *Desain Beton Bertulang Jilid 1 (edisi keempat)*. Jakarta: Erlangga.
- Wang, C. K. dan Salmon, C. G. (1990). *Desain Beton Bertulang Jilid 2 (edisi keempat)*. Jakarta: Erlangga.

BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Gayatri Inersia Siswono, dilahirkan di Sidoarjo pada 25 Juli 1994. Penulis merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Tumbuh Kembang Surabaya, SDN Pagerwojo 1 Sidoarjo, SMPN 1 Buduran Sidoarjo, SMA Antartika Sidoarjo, penulis mengikuti ujian masuk Diploma Reguler ITS dan diterima di jurusan DIII Teknik Sipil pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3112030019. Di jurusan ini penulis mengambil konsentrasi bidang studi Bangunan Gedung. Selain itu, penulis juga aktif mengikuti kegiatan mahasiswa jurusan maupun institut yang diadakan oleh ITS.

BIODATA PENULIS



Penulis yang memiliki nama lengkap Adam Nurul Kamal, dilahirkan di Sidoarjo pada 27 Maret 1994. Penulis merupakan anak kedua dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Ma'arif, SDN 1 Kalitengah, Sidoarjo, SMPN 2 Candi Sidoarjo, SMA Muhammadiyah 2 Sidoarjo, penulis mengikuti ujian masuk Diploma Reguler ITS dan diterima di jurusan DIII Teknik Sipil pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 3112030021. Di jurusan ini penulis mengambil konsentrasi bidang studi Bangunan Gedung. Selain itu, penulis juga aktif mengikuti kegiatan mahasiswa jurusan maupun institut yang diadakan oleh ITS.